

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Luiz Felipe de Oliveira Costa

**O USO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE
POTÊNCIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS DE
MÉDIA E BAIXA TENSÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho

Agosto de 2014

Itajubá

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá
Bibliotecária Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci- CRB_6/1698

C837u

Costa, Luiz Felipe de Oliveira

O Uso de Conjuntos de Manobra e Controle de Potência em
Sistemas Elétricos Industriais de Média e Baixa Tensão. / Luiz
Felipe de Oliveira Costa. – Itajubá, (MG) : [s.n.], 2014.

116 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Conjunto de Manobra e Controle. 2. Painel Resistente a
Arco Elétrico. 3. Média Tensão. 4. Baixa Tensão. I. Carvalho
Filho, José Maria de, orient. II. Universidade Federal de Itajubá.
III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Luiz Felipe de Oliveira Costa

**O USO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE
POTÊNCIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS DE
MÉDIA E BAIXA TENSÃO**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 21 de agosto de 2014, conferindo ao autor o título de ***Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.***

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho (Orientador)

Prof. Dr. Ronaldo Rossi

Prof. Dr. Manuel Luís Barreira Martinez

Itajubá

2014



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei 10436, de 24 de Abril de 2002

**TERMO DE ACEITE
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO/TESE
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU SENSU**

Eu, Prof. Dr. JOSÉ MARIA DE CARVALHO FILHO, declaro que aceito a versão final da Dissertação/Tese de meu orientado LUIZ FELIPE DE OLIVEIRA COSTA, matrícula: 21864 do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA ELÉTRICA e que o mesmo contém as indicações e correções sugeridas pela Banca Examinadora e que poderá ser realizada sua Homologação.

Em 13 de outubro de 2014.

Assinatura Orientador



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

A N E X O I

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: "O Uso de Conjuntos de Manobra e Controle de Potência em Sistemas Elétricos Industriais de Média e Baixa Tensão"

Autor: **Luiz Felipe de Oliveira Costa**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito	Rubrica
	A = Aprovado - R = Reprovado - I = Insuficiente	
1º	A	
2º	A	
3º	A	

Observações:

- (1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
 - (2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
 - (3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.
- Este documento terá a validade de 60 (sessenta) dias a contar da data da defesa da Dissertação.

Resultado Final: Conceito: A, ou seja, APROVADO

Observações: _____

Itajubá, 21 de Agosto de 2014.

Prof. Dr. Ronaldo Rossi
1º Examinador – UNESP- Feg

Prof. Dr. Mander Luis Barreira Martinez
2º Examinador – UNIFEI

Prof. Dr. José Maria de Carvalho Filho
3º Examinador – UNIFEI

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, Margarida, e ao meu pai adotivo, Arlindo, "in memoriam", que
foram e são a base de tudo que eu sou e consegui.
A meu filhos, que representam para mim a continuação da vida e a reafir-
mação da esperança.
Ao Criador, "Engenheiro" de toda a Vida e de todo este Universo.*

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial aos meus filhos, Thiago e Pedro, e a mãe deles, Leila.

A todos os Mestres, que tive a sorte de encontrar ao longo da vida, que me guiaram pelos caminhos do Conhecimento Técnico e da Experiência Humana.

A todos os meus amigos e aos colegas de trabalho que partilharam tantos momentos.

À Eaton por acreditar, apoiar e investir no meu desenvolvimento e crescimento pessoal e profissional.

Ao professor José Maria de Carvalho Filho pela orientação, apoio e disponibilidade.

A UNIFEI e ao GQEE pela acolhida e oportunidade de aprendizado.

A CAPES, CNPq, FAPEMIG e ao INERGE por todo suporte.

Enfim, a todos aqueles que muito me ensinaram, me apoiaram e me ajudaram na superação dos desafios enfrentados no decorrer de mais de 30 anos de vivência e contínuo aprendizado da ciência e da arte da Engenharia Elétrica.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
SUMÁRIO	III
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	VIII
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E A RELEVÂNCIA DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO	5
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. FUNDAMENTOS PARA APLICAÇÃO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE POTÊNCIA.....	8
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	8
2.2. NÍVEIS DE TENSÕES NOMINAIS E OPERACIONAIS ASSOCIADAS AOS CMCP	12
2.3. SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE.....	13
2.4. SELEÇÃO INICIAL DE UM CONJUNTO DE MANOBRA E CONTROLE.....	14
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
3. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE MT.....	19
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
3.2. FILOSOFIA CONSTRUTIVA	20
3.3. ALGUNS DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE CMCP EM MT.....	29
3.4. VERIFICAÇÕES DE DESEMPENHO DE CMCP EM MT.....	36
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
4. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE BT.....	40
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	40
4.2. FILOSOFIA CONSTRUTIVA	42
4.3. ALGUNS DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE CMCP EM BT.....	53
4.4. VERIFICAÇÕES DE DESEMPENHO DE CMCP EM BT	58
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5. A SEGURANÇA HUMANA E A ENERGIA INCIDENTE DEVIDA A UM ARCO ELÉTRICO.....	59
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	59
5.2. CENÁRIO ATUAL	59
5.3. RISCO DE EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO.....	63
5.4. FATORES QUE AFETAM OS NÍVEIS DE ENERGIA INCIDENTE.....	67
5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
6. O USO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE POTÊNCIA E A ENERGIA LIBERADA POR UM ARCO ELÉTRICO.....	71
6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	71
6.2. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE FRENTE AOS EFEITOS DE UM ARCO INTERNO...	71
6.3. EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO E O USO DE EPI	73

6.4. SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA ENERGIA E MITIGAÇÃO DOS POSSÍVEIS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO.....	76
6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
7. ESTUDOS DE CASO	99
7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	99
7.2. ESTUDO DE CASO DE MÉDIA TENSÃO	99
7.3. ANÁLISE DO CASO DE MÉDIA TENSÃO	100
7.4. ESTUDO DE CASO DE BAIXA TENSÃO	103
7.5. ANÁLISE DO CASO DE BAIXA TENSÃO.....	104
7.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
8. CONCLUSÕES.....	108
8.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES	108
8.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	109
8.3. PUBLICAÇÕES.....	110
REFERÊNCIAS.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- SEP – Principais Elementos	1
Figura 1.2- Exemplos de CMCP (Painéis – Quadro e Cubículo)	2
Figura 2.1- CMCP (CDC) de MT	8
Figura 2.2- CMCP (CCM) de BT	9
Figura 2.3- Parte de um diagrama unifilar com aplicações de CDC e CCM em MT	11
Figura 3.1- Vista frontal de um CMCP de MT	20
Figura 3.2- Visualização esquemática de uma seção de um CMCP de MT	21
Figura 3.3- Exemplo de Unidade Funcional (UF)	21
Figura 3.4- Compartimentos de um unidade funcional típica de MT	22
Figura 3.5- Classificações LSC1 e LSC2 para UF de MT	25
Figura 3.6- Classificações LSC2A e LSC2B para UF de MT	25
Figura 3.7- Compartimentos de um CMC de MT com 1 unidade funcional por coluna	26
Figura 3.8- Compartimentos de um CMC de MT com 2 unidades funcionais por coluna	27
Figura 3.9- Simulação gráfica da corrente de um curto-circuito monofásico	30
Figura 3.10- DU parcial de uma unidade petroquímica com turbogeradores	32
Figura 3.11- Vista parcial do CMCP de MT correspondente ao DU da Figura 3.10	32
Figura 3.12- Comparação das formas de onda e dos valores eficazes das correntes secundárias de um Transformador de Corrente	34
Figura 3.13- Oscilogramas para verificação de suportabilidade ao impulso atmosférico	36
Figura 3.14- Configuração interna do CMCP de MT ensaiado para verificação do NBI	36
Figura 4.1- Vista frontal de um CMCP de MT	40
Figura 4.2- Evolução da normalização para CMCP de BT	41
Figura 4.3- Visualização esquemática dos componentes e partes de um CMCP de BT	42
Figura 4.4- Tipos construtivos básicos de CMCP de BT, conforme a ABNT e IEC	43
Figura 4.5- Exemplos de unidade funcional (“gaveta”) extraível para CMCP de BT	44
Figura 4.6- Barramento principal com montagem horizontal / superior	45
Figura 4.7- Barramento de derivação.....	45
Figura 4.8- Exemplos de unidades funcionais fixa, removível (“plug-in”) e extraível	46
Figura 4.9- Comparativo dos requisitos e características de operação e manutenção entre unidades funcionais fixas, removíveis e extraíveis para CMCP de BT	46
Figura 4.10- Posições de uma UF extraível: inserida, de ensaio e extraída	47
Figura 4.11- Vista esquemática de um unidade funcional extraível	47
Figura 4.12- Vista de unidade funcional extraível, mostrando as suas conexões	48
Figura 4.13- Parte de um DU com a possibilidade de paralelismo de transformadores	49
Figura 4.14- Parte de DU com a possibilidade de paralelismo com geração própria	50
Figura 4.15- Representação esquemáticas das Formas de Separação definidas pela ABNT e IEC	51
Figura 4.16- Exemplo da forma “2a”	52
Figura 4.17- Exemplo das formas “4b” e “3b”	52
Figura 4.18- Exemplo de bobina de Rogowski	54
Figura 4.19- Redução da energia incidente pela alteração dos ajustes da proteção	54
Figura 4.20- CMCP-BT com forma de separação “4b” e proteção secundária	55
Figura 5.1- Zonas relativas a choque elétrico, conforme a NR-10	64
Figura 5.2- Zonas de choque elétrico e exposição a arco elétrico, segundo a NFPA 70E	64
Figura 5.3- Interação entre zonas relativas a choque elétrico e exposição a arco elétrico	65
Figura 5.4- Exemplo de diagrama unifilar para análise do tempo de eliminação de falta	68

Figura 5.5- Exemplo de tempo de eliminação (no caso, um segundo) de fusível primário para uma falta secundária	69
Figura 6.1- Vestimenta com várias camadas: uso de macacão sobre as roupas	75
Figura 6.2- Visor de proteção com acabamento na cor verde	76
Figura 6.3- CMC-AR, de média tensão, com sistema coletor / exaustor de gases	78
Figura 6.4- CMCP com sistema coletor de gases e duto de exaustão externa	79
Figura 6.5- Vista frontal do CMCP mostrado na Figura 6.4	79
Figura 6.6- CMCP de MT, tipo LSC2B-PM, com um disjuntor por coluna	82
Figura 6.7- CMCP de MT, padrão ANSI, com dois disjuntores por coluna	82
Figura 6.8- Esquema de detecção por corrente (TC) e luz (sensor ótico) de arco interno ...	83
Figura 6.9- Redução da energia de um arco interno por inserção de curto-circuito franco em paralelo com a falha original	84
Figura 6.10- Operação de movimentação de elemento de manobra extraível	84
Figura 6.11- Movimentação de disjuntor extraível, com a porta frontal fechada	85
Figura 6.12- Operação remota de movimentação do elemento de manobra extraível	86
Figura 6.13- Acesso remoto através de uso de Redes de Comunicação	86
Figura 6.14- RLC trifásico em um CCM de BT	87
Figura 6.15- Aterramento por alta resistência do neutro de um sistema de 480 / 277 V	88
Figura 6.16- Uso inadequado de elementos fusíveis limitadores de corrente	88
Figura 6.17- Exemplo de aplicação de Seletividade Lógica (ZSI)	90
Figura 6.18- Sistema de redução de energia incidente através da mudança do grupo de ajustes da proteção	91
Figura 6.19- Coordenograma ilustrando a redução da energia incidente obtida com o sistema da Figura 4.19	92
Figura 6.20- Exemplo de uma etiqueta de advertência	93
Figura 6.21- Exemplos de janelas para termovisão	94
Figura 6.22- Instalação de janelas termográficas	94
Figura 6.23- Acopladores capacitivos para monitoração contínua dos níveis de DP	95
Figura 6.24- Unidade microprocessada de monitoração contínua de DP.....	95
Figura 6.25- Conexão de saída de dispositivo com sinais de sobreaquecimento	96
Figura 6.26- Detalhe da conexão defeituosa mostrada na Figura 6.25	97
Figura 6.27- Conexão de saída de um CCM de MT com sinais de aquecimento.....	97
Figura 7.1- DU para um CDC de MT	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Tipos de compartimentos em relação à sua acessibilidade	23
Tabela 3.2- Categorias das partições entre partes vivas e compartimento acessível aberto	23
Tabela 3.3- Classificação dos tipos de categoria quanto à perda de continuidade de serviço quando da abertura de um compartimento acessível	24
Tabela 3.4- Classificação de um CMCP de MT no caso de um arco interno	28
Tabela 4.1- Valores do fator de potência, relação X/R associada e do fator “n” para as faixas de correntes de curto-circuito em BT, segundo a IEC	49
Tabela 4.2- Formas de Separação para CMCP de BT, conforme a IEC	50
Tabela 4.3- Fator nominal de diversidade, segundo a ABNT NBR IEC 60439-1.....	53
Tabela 4.4- Valores da relação entre I_{cs} e I_{cu}	57
Tabela 5.1- Relação dos fatores usados no cálculo da fórmula de determinação da corrente de arco, conforme a norma IEEE STD 1584	61
Tabela 5.2- Fatores de cálculo de (5.5) e (5.6), segundo a tabela “4” (“Factors for Equipment and Voltage Class”) da norma IEEE STD 1584	63
Tabela 5.3- Categoria de Riscos segunda a NFPA 70E (com o valor limite da faixa de energia incidente): Requisitos para Vestimentas	66
Tabela 5.4- Exemplo de margens de tempo de segurança recomendadas para a coordenação entre elementos de proteção contra sobrecorrentes	70
Tabela 6.1- Classificação da Categoria de Risco – HRC, por atividade (extrato da tabela 130.7(C) (9) da NFPA 70E / 2009)	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	ampere (unidade para corrente elétrica).
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ANSI	“American National Standards Institute”.
AR	“Arc Resistant” (“Resistente ao Arco”).
ATPV	“Arc Thermal Performance Value” (“Valor de Desempenho Térmico frente ao Arco Elétrico”).
BIL	“Basic Impulse Insulation Level” (“Nível Básico de Isolamento ao Impulso” – NBI).
BT	Baixa Tensão (tensões em corrente alternada iguais ou inferiores ao valor de 1000 V eficazes e tensões em corrente contínua iguais ou inferiores ao valor de 1500 V).
CA	Corrente Alternada.
CC	Corrente Contínua.
CCM	Centro de Controle de Motores.
CDC	Centro de Distribuição de Cargas.
CIRED	“International Conference on Electricity Distribution” (“Conferência Internacional sobre Redes de Distribuição Elétrica”).
CMC	Conjunto de Manobra e Controle.
CMCP	Conjunto de Manobra e Controle de Potência.
DP	Descargas Parciais.
DU	Diagrama Unifilar.
EBT	“Energy of Breakopen Threshold” (“Energia do Limiar de Rompimento”).
EPC	Equipamentos de Proteção Coletiva.
EPI	Equipamentos de Proteção Individual.
ET	Especificação Técnica.
f	Frequência, em hertz.
FD	Folha de Dados
FR	“Flame resistant” (“Resistente a chama”).
HRC	“Hazard Risk Category” (“Categoria de Risco de Perigo”).
I_3	Valor da corrente de mínima fusão, associado ao uso de fusíveis limitadores de corrente.
i_p	Valor instantâneo de pico do primeiro e maior semiciclo da corrente assimétrica de curto-circuito, em amperes (A) ou quiloamperes (kA).
I''_k	Valor eficaz da componente simétrica da corrente subtransitória de curto-circuito, em amperes (A) ou quiloamperes kA.
IAC	“Internal Arc Classification” (“Classificação para Arco Interno”).
I_{cs}	Capacidade de Interrupção de Serviço de um disjuntor de BT.
I_{cu}	Capacidade de Interrupção Máxima de um disjuntor de BT.
IEC	“International Electrotechnical Commission”.
IEEE	“Institute of Electrical and Electronic Engineers”.
IHM	Interface Homem – Máquina.

k	Coeficiente que, ao ser multiplicado pela raiz quadrada de 2, estabelece a relação entre os valores de pico e eficaz do primeiro e maior semiciclo da corrente subtransitória de curto-circuito em um sistema de alta tensão.
K_a	fator de correção de altitude, conforme IEC 60071-2.
kA	quiloampere (múltiplo da unidade “ampere”: A).
kV	quilovolt (múltiplo da unidade “volt”: V).
MC	“Metal-clad” (classificação IEEE referente a estrutura descrita na ANSI/IEEE C37.20.2).
ME	“Metal-enclosed” (denominação IEEE para estruturas montadas em invólucros metálicos).
MT	Média Tensão (tensões operacionais em corrente alternada acima de 1000 V eficazes e até 69000 V eficazes, exclusive).
n	Coeficiente usado para definir a relação entre os valores de pico e eficaz do primeiro e maior semiciclo da corrente subtransitória de curto-circuito em um sistema de baixa tensão.
NBI	Nível Básico de Isolamento (ao Impulso Atmosférico).
NEMA	“National Electrical Manufacturers Association”.
NFPA	“National Fire Protection Association”.
NR	Norma Regulamentadora, estabelecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego.
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
R	Resistência ôhmica efetiva em corrente alternada, em ohms.
RLC	Reator Limitador de Corrente.
RRRV	“Rate-of-Rise of Recovery Voltage” (“Taxa de Crescimento da Tensão de Restabelecimento”), em kV/ μ s.
SCPD	“Short-circuit Protective Device” (“Dispositivo de Proteção de Curto-circuito”).
SEP	Sistema Elétrico de Potência.
SEI	Sistema Elétrico Industrial.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
TC	Transformador de Corrente.
TCTR	Taxa de Crescimento da Tensão de Restabelecimento, em kV/ \square s.
TP	Transformador de Potencial.
TRT	Tensão de Restabelecimento Transitória, em kV (valor instantâneo de pico).
TRV	“Transient Recovery Voltage” (“Tensão de Restabelecimento Transitória”) , em kV (valor instantâneo de pico).
UF	Unidade Funcional.
UL	“Underwriters Laboratories”.
V	volt (unidade para tensão elétrica).
X	Reatância Indutiva, em ohms.
Z	Impedância, em ohms.
ZSI	“Zone Selective Interlock” (“Intertravamento Seletivo de Zonas”).
τ	Constante de tempo, em segundos (s) ou milisegundos (ms).
ω	Frequência Angular, em rad/s.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar e discutir algumas das implicações relativas à aplicação e o uso seguros dos conjuntos de manobra e controle de potência (CMCP) em sistemas de média e baixa tensões. Serão descritas algumas das interações existentes entre as instalações elétricas industriais e os conjuntos de manobra e controle de potência, identificando-se os pontos críticos de projeto, fabricação e uso dos mesmos frente às condições normais e anormais de operação do sistema elétrico ao qual o mesmo estará associado, tais como: níveis de curto-circuito trifásico e monofásico (implicações dinâmicas e térmicas em barramentos e componentes), níveis de energia incidente nos casos de descarga por arco elétrico (implicações de segurança, filosofias de proteção, operação e manutenção), filosofia de proteção (tipos de relés, proteção diferencial de barras, seletividade lógica), e possíveis condições especiais (geração local, altos níveis de valores de X/R, TRT e TCTR) na definição de disjuntores de distribuição em MT.

A metodologia adotada foi a de levantamento e descrição do cenário atual de grandes projetos industriais em fases de fornecimento ou pré-operação de equipamentos de manobra, através de especificações técnicas, requisitos normativos (ABNT, ANSI, IEC e NR), folhas de dados, desenhos, etc.. São apresentados muito dos desafios e dificuldades encontradas pelos fabricantes de CMCP, enumerando-se as soluções adotadas atualmente, tanto pela ótica de projeto e fabricação quanto de operação e manutenção.

Quando da apresentação dos resultados obtidos, serão mostradas as soluções adotadas e suas possíveis limitações ao atendimento dos requisitos estabelecidos por especificação de projeto e / ou norma técnica.

ABSTRACT

This work aims to present and discuss some of the implications relative to the application and safety use of Power Switchgear and Controlgear (CMCP) in Medium and Low Voltage Systems. It will describe some of the existing interactions between Industrial Electric Installations and, Switchgear and Controlgear Assemblies, identifying the critical points of design, manufacturing and using of them in the view of normal and abnormal operational conditions of the associated Electrical System, like: three-phase and single-phase short-circuit levels (mechanical and thermal stresses of busbars and components), levels of incident energy (safety issues, and protection, operation and maintenance philosophies), protection philosophy (types of protective relays, busbar differential protection, logic selectivity), and possible special conditions (local generation, high levels of X/R ratio and, TRV and RRRV values) for use of MV distribution circuit-breakers.

The adopted methodology was the identification and description of the current scenario of major industrial projects in the phases of supplying or pre-operation of their main switching equipment, through technical specifications, standard requirements (ABNT, ANSI, IEC and NR), data sheets, drawings, etc. It is presented the challenges and issues faced by Switchgear and Controlgear manufacturers, listing the current adopted solution, based on design and manufacturing points of view besides operation and maintenance.

At the presentation of founded results, it will be shown the adopted solutions and their possible limitations to comply with requirements established by the project specification and/or technical standard.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E A RELEVÂNCIA DO TEMA

A energia elétrica, seja ela em alta ou baixa tensão, quando disponibilizada para uso em uma concessionária de energia, uma indústria, um prédio comercial ou residencial, um hospital, um centro comercial ou em qualquer aplicação no mundo moderno, como mostrado, de forma esquemática, na Figura 1.1, precisa ser:

- Operada (manobrada);
- Protegida;
- Controlada;
- Regulada; e
- Medida.

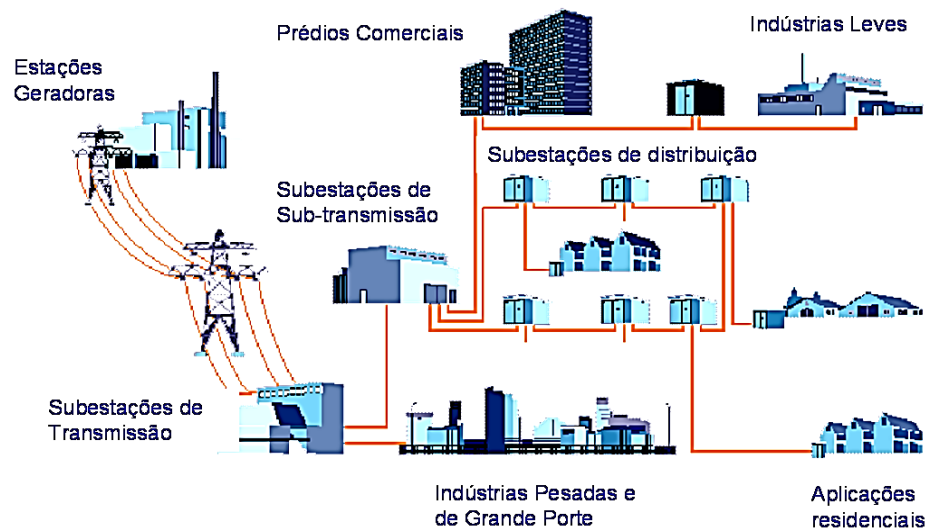


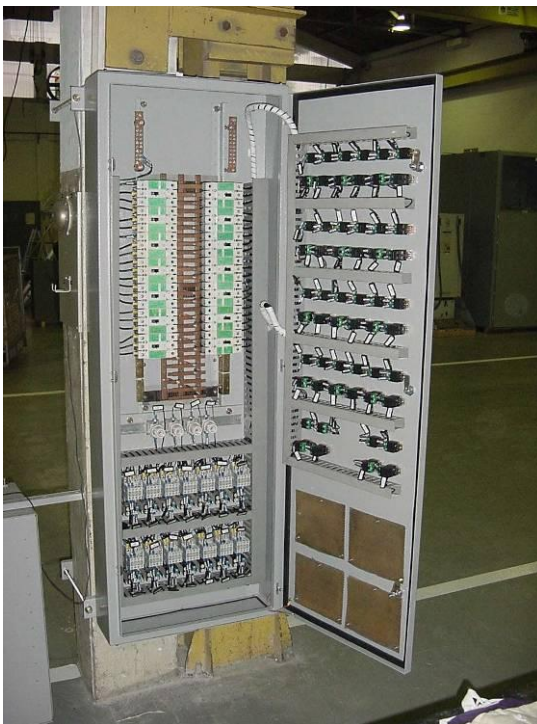
Figura 1.1- SEP – Principais segmentos

Todas as etapas descritas acima são obtidas através do uso de conjuntos de manobra e controle (CMC). Sempre se priorizando, quando do seu uso, a segurança das instalações, dos equipamentos e, principalmente, do ser humano.

Um CMC pode ser melhor compreendido se visualizado como sendo a interface física entre um sistema elétrico e o ser humano. Em outras palavras, e de um modo simplificado, pode-se considerar estes equipamentos como sendo uma

grande IHM (Interface Homem – Máquina), onde o sistema elétrico toma, neste caso, o lugar da “Máquina”. Esse conceito construtivo de equipamentos é a concretização da respectiva representação de parte de uma instalação elétrica, mostrada nos diagramas unifilares e trifilares, além das demais representações associadas que se fazem necessárias, tais como: diagramas funcionais, diagramas lógicos, diagramas de fiação e interligação, etc.

Os conjuntos de manobra e controle, comumente conhecidos como painéis elétricos, são, normalmente, estruturas com invólucros metálicos para montagens em paredes (sobrepostas ou embutidas) ou no piso (autossustentáveis). Sendo que, dentro destas estruturas, pode-se montar uma diversidade enorme de equipamentos que permitem a manobra, controle, regulação, proteção e medição de parte de um sistema elétrico. As estruturas para montagens em paredes são, normalmente, denominadas de QUADROS (exemplificado na Figura 1.2 a); enquanto que as estruturas autossustentáveis são, usualmente, conhecidas como CUBÍCULOS (Figura 1.2 b).



a) Quadro de sobrepor



b) Cubículo autossustentável

Figura 1.2- Exemplos de CMCP (Painéis – Quadro e Cubículo)

Existem, conforme a formação técnica, a aplicação, a região geográfica (local da instalação), a cultura da empresa (país de origem da tecnologia) e, até, do tipo de instalação (indústria de transformação, papel e celulose, petroquímica, side-

rurgia, geração de energia, concessionária, instaladores, etc.), variações quanto à nomenclatura usada para os painéis e quadros elétricos:

- Centro de Controle de Motores (CCM);
- Centro de Distribuição de Cargas (CDC);
- Conjunto Montado em Fábrica (CMF);
- Conjunto de Manobra e Controle (CMC);
- Conjunto de Manobra (CJM);
- Conjunto de Manobra e Controle em Invólucro Metálico (chamado, às vezes, de, simplesmente, Conjunto de Manobra);
- Conjunto de Manobra e Controle Simplificado (Painel tipo “Metal-Enclosed”);
- Conjunto de Manobra Blindado (Painel “Metal-Clad” ou “Blindada”);
- Conjunto de Manobra resistente a arco elétrico;
- Cubículo;
- Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), e “et Cetera”.

As indústrias, nos locais onde só é permitido acesso de pessoas advertidas (BA4) e qualificadas (BA5), utilizam equipamentos apropriados, conhecidos como conjuntos de manobra e controle de potência, com configurações específicas, tais como CCM (Centro de Controle de Motores) e CDC (Centro de Distribuição de Cargas), tanto em média tensão (MT) quanto em baixa tensão (BT), para suprir as necessidades dos pontos de distribuição e controle de energia elétrica em seus parques industriais. Estes equipamentos estão associados às barras de um Sistema Elétrico Industrial, que, muitas vezes, apresentam níveis altos de demanda, de correntes de curto-circuito, de energia associada às descargas de arco elétrico ou características especiais, tais como a existência de relações atípicas entre os valores da reatância indutiva e da resistência obtidas a partir do equivalente de Thévenin, vista pela fonte até o referido ponto do sistema elétrico.

A realidade atual é que, tanto a especificação quanto a operação dos Conjuntos de Manobra e Controle de média e baixa tensões, no que se refere a suas características, tanto intrínsecas quanto extrínsecas, ainda representam uma zona nebulosa para a grande maioria dos usuários. Sendo que, na maioria dos casos, muitos profissionais ainda empregam, como critérios únicos de projeto, os níveis de tensões e correntes elétricas de operação relativas à aplicação.

Na verdade, um CMCP exige que seu desenvolvimento, projeto, instalação, comissionamento, operação e manutenção apresentem cuidados especiais relativos à segurança humana e patrimonial. Afinal, um acidente envolvendo estes equipamentos resulta em muitos transtornos e em custos consideráveis, sendo que, muitas vezes, as piores consequências recaem sobre o trabalhador. Por isso, o conhecimento do estado da arte do projeto e uso de conjuntos de manobra e controle permite diminuir as chances de ocorrência de falhas internas e aumentar a probabilidade de salvar a vida humana e os equipamentos e instalações. Desta forma, é fundamental fornecer diretrizes aos engenheiros responsáveis pela especificação e uso de novos painéis elétricos ou modernização de unidades existentes, disponibilizando as diversas opções e recomendações vigentes atualmente nos meios técnicos.

A crescente conscientização, vista em diversos segmentos industriais, dos riscos associados aos trabalhos em eletricidade, vem se estendendo, também, ao uso de conjuntos de manobra e controle de potência. E, dentro deste novo contexto, os profissionais da área vêm se deparando com novos desafios, provenientes da compreensão da existência de altos valores de energia incidente, liberada em descargas por arcos elétricos associadas a atividades que eram, antes, consideradas como de rotina. Daí a necessidade de se aprofundar na aplicação e especificação destes equipamentos, além da determinação dos níveis disponíveis de energia incidente associados aos mesmos, de modo a se definir as medidas necessárias para se maximizar a segurança humana e patrimonial.

A descrição, de uma forma sucinta, dos procedimentos, métodos e abordagens disponíveis atualmente para prevenção e mitigação dos riscos e efeitos associados à ocorrência de falhas em conjuntos de manobra e controle de potência deve ser adotada como ponto de partida para a análise e definição das filosofias de proteção a serem utilizadas.

A partir deste cenário, é possível notar a importância de se identificar as condições e os níveis reais de energia que estão presentes no ponto de aplicação de um CMCP e definir os métodos de prevenção e mitigação de efeitos resultantes de falhas no SEP associado. Além do tradicional uso de relés de proteção e equipamentos de manobra, existem filosofias disponíveis atualmente que complementam a segurança, tais como:

- CMCP resistente aos efeitos de um arco interno;
- CMCP com limitação de causas de um arco interno;
- CMCP com segurança aumentada e técnicas de redução de riscos de acidentes;
- Uso de monitoramento contínuo e ferramentas de diagnóstico preditivo;
- Dispositivos redutores de níveis de energia relacionada a um arco.

1.2. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

A literatura disponível no Brasil sobre conjuntos de manobra e controle pode ser considerada escassa quando se busca uma única fonte de informações para todo o universo de aplicações e equipamentos usados. Dentro deste cenário, são consideradas referências: (GREMMEL, 2006, “ABB Switchgear Manual”, 11ª Ed.) e (SMEATON e UBERT, 1997, “Switchgear and Control Handbook”, 3ª Ed.). O primeiro foi gerado dentro do contexto normativo da IEC com uma forte influência da escola europeia, enquanto que o segundo espelha a cultura norte-americana, com fortes referências às normas ANSI, NEMA e UL.

Existem outros livros que merecem destaque. Entre eles podem ser citados os seguintes trabalhos:

- (BLOWER, 1986, “Distribution Switchgear: construction, performance, selection and installation”) apresenta muito da escola inglesa; com uma excelente abordagem de materiais de montagem, de condutores e de isolantes utilizados na fabricação de CMCP;
- (BEATY e FINK, 2012, “Standard Handbook for Electrical Engineers”, 14ª Ed.) é uma referência clássica da escola norte-americana há várias décadas;
- (BOSSI e SESTO, 1978, “Instalações Elétricas”, 1ª Ed.) é a tradução para o português da 6ª edição (1977) do livro “Impianti Elettrici”, e traz muita informação da escola italiana;
- (SPITTA, 1981, “Instalaciones Eléctricas”, 2ª Ed.) é um manual técnico da Siemens, cujo original em alemão é do ano de 1971, e foi traduzido para o espanhol, pela primeira vez, em 1974, pela Editora Dossat, apresentando, em seus dois volumes, a essência da escola alemã.

- (CHUNIKHIN e ZHAVORONKOV, 1989, “High Voltage Switchgear – Analysis and Design”) é uma tradução para a língua inglesa de um original russo, com uma abordagem segundo a antiga União Soviética.

Apesar de não serem dedicados exclusivamente aos tópicos relativos a um CMCP, outros livros têm servido de complementação ao projeto, montagem e aplicação de equipamentos de manobra e controle. Entre as diversas referências disponíveis, convém registrar os seguintes trabalhos:

- (BEEMAN, 1955, “Industrial Power Systems Handbook”), cujo material foi gerado por diversos engenheiros da “General Electric”, é considerado um clássico desde o seu lançamento;
- (BLACKBURN e DOMIN, 2007, “Protective Relaying: Principles and Applications” , 3ª Ed, de 2007) traz diretrizes úteis para a aplicação de relés de proteção, TCs, TPs e aterramento em um CMCP.

Diante do contexto apresentado, a presente dissertação busca como principais objetivos e contribuições, tanto para o meio acadêmico quanto profissional, a apresentação organizada e estruturada, sobre as principais questões relacionadas à aplicação e o uso de conjuntos de manobra e controle de potência, tanto de média quanto de baixa tensão, em instalações elétricas industriais. Também são destacadas, ao longo do trabalho, as principais semelhança e divergências encontradas entre as normalizações europeia (IEC) e norte americana (ANSI, NEMA e UL).

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

De forma a organizar e estruturar as informações levantadas para esta dissertação, o texto se encontra dividido em 9 (nove) partes.

O capítulo corrente se refere à introdução deste trabalho, descrevendo sua relevância e apresentando os principais objetivos e contribuições almejados por esta dissertação.

O segundo capítulo apresenta os principais conceitos e definições referentes aos conjuntos de manobra e controle. Este capítulo visa apresentar os fundamentos necessários para compreensão do conceito de conjuntos de manobras e controle.

O terceiro capítulo discorre, especificamente, sobre os conjuntos de mano-

bra e controle de média tensão, as suas principais formas construtivas e os requisitos básicos de projeto.

Em continuação e complementação da abordagem do terceiro capítulo, são apresentados, no quarto capítulo, os pontos básicos sobre os conjuntos de manobra e controle de baixa tensão.

Já o quinto capítulo aborda as questões relativas a segurança humana frente a presença de energia incidente associada a ocorrência de um arco elétrico entre fases ou fase e terra em um conjunto de manobra e controle, seja em média ou baixa tensão.

Em continuação ao contexto apresentado no capítulo anterior, o sexto capítulo aborda como os conjuntos de manobra e controle de potência podem lidar com a energia liberada por um arco elétrico devido a uma falha interna.

Ao término da descrição do cenário atual e de todas as implicações que envolvem a aplicação e uso de conjuntos de manobra e controle de potência de média ou baixa tensão, são apresentados dois estudos de caso, sendo um relativo a um CMCP de MT e outro sobre CMCP de BT.

O oitavo capítulo apresenta as conclusões obtidas com este trabalho e, adicionalmente, descreve outras questões que poderão vir a ser abordadas em futuros trabalhos.

O material bibliográfico utilizado na elaboração da presente dissertação é apresentado, em ordem alfabética, no item Referências.

2. FUNDAMENTOS PARA APLICAÇÃO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE POTÊNCIA

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos e os fundamentos relacionados a aplicação de conjuntos de manobra e controle de potência, tanto em média (exemplificado na Figura 2.1) quanto em baixa tensão (ver Figura 2.2).



Figura 2.1- CMCP (CDC) de MT

O primeiro esclarecimento devido é o que se refere a definição do termo “Conjunto de Manobra e Controle de Potência” (CMCP). Estendendo o conceito apresentado nos textos das normas IEC 61439-1 e IEC 61439-2, pode-se definir os Conjuntos de Manobra e Controle de Potência como a integração dos equipamentos aplicados na distribuição e controle de energia elétrica para alimentação de todos os tipos de cargas de uso industrial, comercial ou aplicações similares, onde não é prevista a operação de pessoas comuns, ou seja, a de pessoas consideradas “inadvertidas” (código “BA1” – Pessoas Comuns, relativo a “Competência das pessoas”, conforme a tabela 12 da norma ABNT NBR 14039 e da tabela 18 da norma ABNT NBR 5410). Em outras palavras, são equipamentos para o uso e intervenção de pessoas advertidas (“BA4”) ou qualificadas (“BA5”) e para a instalação em locais com acesso restrito, como, por exemplo, o das salas elétricas de várias indústrias.



Figura 2.2- CMCP (CCM) de BT

Tanto a IEC 62271-200, quanto a NBR equivalente, a ABNT NBR IEC 62217-200, definem “conjunto de manobra e controle” como um termo geral que contempla os dispositivos de manobra e as suas combinações com os equipamentos associados de controle, medição, proteção e regulação, incluindo sua respectiva montagem e as interligações associadas, os acessórios, invólucros e estruturas-suporte. Já a definição para “conjunto de manobra e controle em invólucro metálico” seria aplicada naqueles casos em que os conjuntos possuem um invólucro metálico externo, previsto para ser aterrado, e fornecido completamente montado, com exceção das conexões externas.

A ABNT NBR IEC 60439-1 define conjunto de manobra e controle de baixa tensão como sendo a combinação de um ou mais dispositivos e equipamentos de manobra, controle, medição, sinalização, proteção, regulação, etc.; em baixa tensão, completamente montados, como todas as interconexões internas elétricas e mecânicas e partes estruturais sob a responsabilidade do fabricante.

Além destas definições normativas, existem classificações associadas ao tipo de aplicação a que se destina um determinado CMCP. Basicamente, a classificação está diretamente ligada a função primordial do equipamento. Sendo que, no Brasil, como resultado de anos de influência do universo ANSI / IEEE / NEMA / UL,

é comum se usar, tanto para média quanto baixa tensão, as designações: Centro de Distribuição de Cargas (CDC) e Centro de Controle de Motores (CCM). Um bom exemplo da absorção desta cultura se encontra no uso destes termos nas especificações técnicas de grandes empresas brasileiras, como a Petrobras e a Vale.

Um CDC está associado a uma barra que tem a função de servir de ponto de origem de distribuição da energia elétrica de todo ou parte de um sistema industrial, incluindo funções de proteção e, normalmente, também, de medição. Essa barra está, normalmente, conectada ao secundário de um transformador de potência. Ela pode, ou não, ser ligada a outra barra contígua, instalada no mesmo conjunto construtivo, por meio de um disjuntor de interligação. O CDC costuma apresentar níveis de correntes nominais de regime e de curto-circuito altos. Tanto em MT quanto em BT, são usados, em geral, disjuntores como elementos de manobra.

Um CCM, por sua vez, está associado a uma barra que concentra as funções relacionadas a operação, proteção e o controle dos circuitos alimentadores de motores, tanto em MT quanto BT. Essa barra pode estar conectada ao secundário de um transformador ou ser alimentada a partir de um CDC a montante. Apesar de pouco usual, esta barra, também, pode ter recurso para ser ligada a outra contígua, instalada no mesmo conjunto construtivo, por meio de um disjuntor de interligação. O CCM apresenta, em geral, uma corrente nominal de regime baixa, se comparada com um CDC. Os níveis das correntes nominais de curto-circuito são menores do que em um CDC. Para fins de proteção contra curto-circuito, podem ser utilizados disjuntores ou fusíveis limitadores de corrente. O elemento de manobra mais usual é o contator. Para algumas aplicações em MT, são encontrados casos que se utilizam os disjuntores, associados a relés secundários, para as funções de manobra e proteção.

Uma excelente fonte para auxiliar na compreensão dos conceitos sobre CDC e CCM, apresentados nos parágrafos acima, é o livro (SMEATON e UBERT, 1997, "Switchgear and Control Handbook", 3ª Ed.). No capítulo 14 ("AC Switchgear") desta referência, os autores descrevem os conceitos sobre CDC, tanto de BT (ver a norma IEEE C37.20.1) quanto de MT (ver normas IEEE C37.20.2 e IEEE C37.20.3). Já o capítulo 26 ("Motor-Control Centers") apresenta as definições e recomendações relativas ao CCM, tanto de BT (ver NEMA ICS-18) quanto de MT (ver NEMA ICS-3).

Porém, diferentemente dos Estados Unidos, tal divisão não existe formalmente na cultura europeia. Por conta disso, é muito comum se encontrar, dentro deste contexto, tanto em MT quanto em BT, um CMCP incorporando ambas as funções: CDC e CMC. Este equipamento integra as funções de distribuição de energia (ramais de saída) e alimentação de circuitos de motores. Neste tipo de abordagem, tanto a corrente nominal de regime quanto a de curto-circuito podem atingir valores altos, principalmente, se compararmos com os existentes na maioria das instalações atuais no Brasil.

Na Figura 2.3 é mostrada uma vista parcial de um diagrama unifilar, onde se pode ver dois CDCs (13,8 kV – 2000 A – 40 kA, cada) alimentando, cada um, transformadores de 3150 kVA. Por sua vez, cada transformador alimenta uma barra de um CDC em 4,16 kV (800 A e 20 kA). Cada barra desse CDC alimenta um CCM de MT (4,16 kV / 800 A / 20 kA).

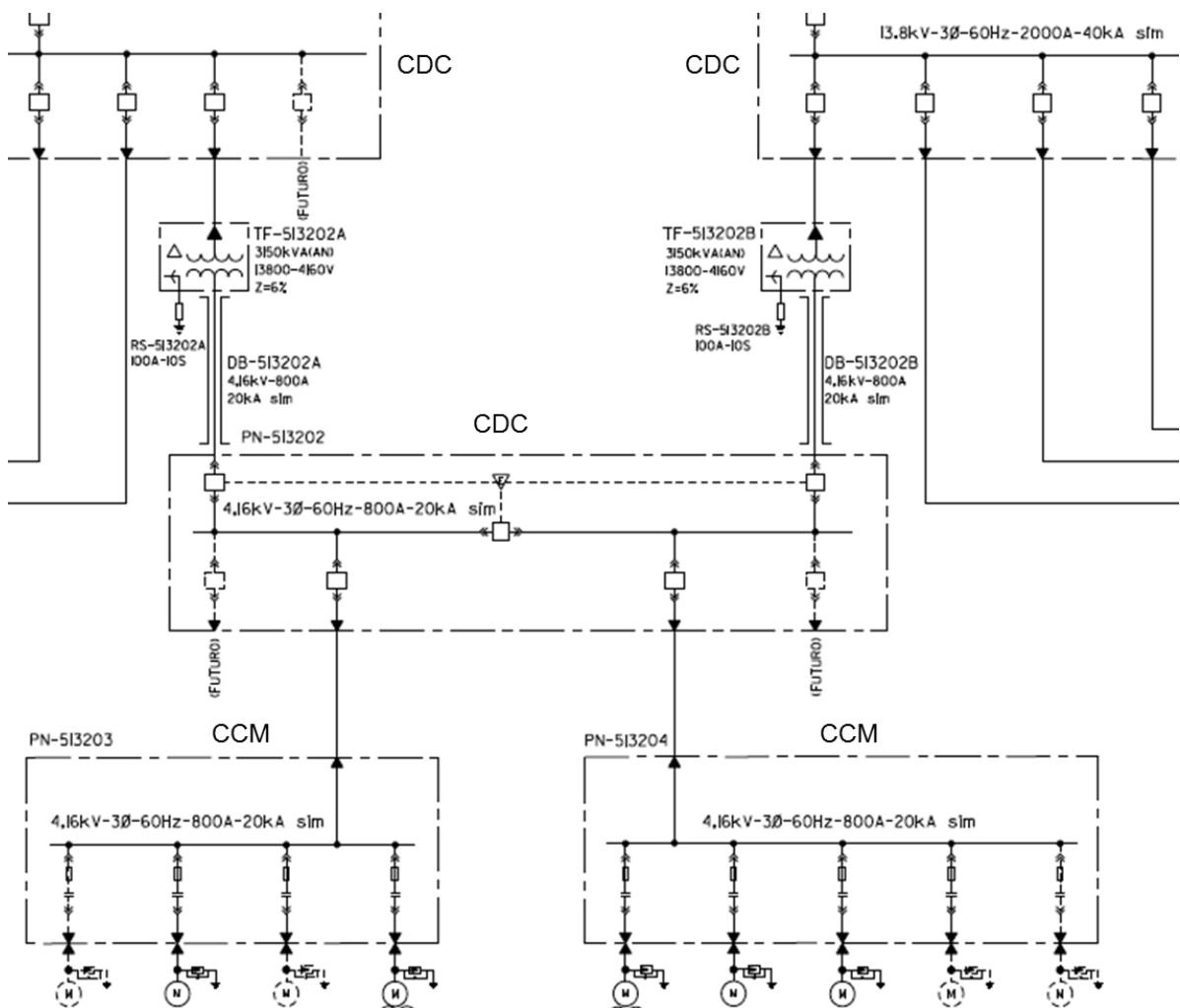


Figura 2.3- Parte de um diagrama unifilar com aplicações de CDC e CCM em MT

Em termos práticos, o enquadramento em faixas, adotado no dia a dia pelos profissionais das áreas de projeto, operação e manutenção na cultura elétrica nacional, é uma mescla entre a ABNT/IEC e a ANSI/NEMA. Desta forma, a classificação mais usada em CA é:

- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| • Até 1 kV (inclusive) | Baixa Tensão |
| • De 1 kV até 69 kV (exclusive) | Média Tensão |
| • De 69 kV até 138 kV (inclusive) | Alta Tensão |
| • De 230 kV até 525 kV (inclusive) | Extra Alta Tensão |
| • Acima de 525 kV | Ultra Alta Tensão |

2.3. SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

Dentro do contexto de segurança em instalações e serviços em eletricidade, a base atual adotada em todo território brasileiro é a norma regulamentadora brasileira NR-10, emitida pelo Governo Federal Brasileiro. Este documento determina, nos seus objetivos e campo de aplicação, que devem ser observadas as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

A NR-10 apresenta em seu escopo os seguintes objetivos primários:

- Estabelecimento do mínimo necessário para a segurança em instalações, equipamentos e serviços relativos à eletricidade;
- Aplicabilidade a todas as partes de um sistema elétrico: geração, transmissão, distribuição e consumo de energia;
- Observação das normas técnicas estabelecidas pelos órgãos competentes para as instalações e os equipamentos elétricos;
- Inclusão das etapas de projeto, construção, montagem, operação e manutenção no contexto da filosofia e do programa de segurança em eletricidade;
- Inclusão, também, dos trabalhos efetuados na proximidade de instalações elétricas;
- Imposição de medidas preventivas de controle de risco pelo uso de técnicas de análise do mesmo, visando garantir a segurança e a saúde de todos relacionados à atividade;

- Adoção e a manutenção de informações atualizadas dos esquemas unifilares, dos sistemas de aterramento e de todos os equipamentos e dispositivos de proteção.

Além dos pontos listados acima, existe, também, a obrigatoriedade de se manter:

- Prontuário das Instalações Elétricas;
- Procedimentos e instruções técnicas;
- Registros relativos às condições e valores do sistema de proteção de forma a se definir os meios a serem adotados contra as descargas atmosféricas e os procedimentos para aterramentos;
- Especificação dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e dos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC);
- Qualificação, habilitação, capacitação e autorização formal de todos os profissionais envolvidos. Fato que implica na necessidade de treinamento e conscientização.

2.4. SELEÇÃO INICIAL DE UM CONJUNTO DE MANOBRA E CONTROLE

Um dos pontos mais importantes em uma instalação industrial, porém ainda nebuloso para a maioria dos usuários, é a seleção do tipo de painel elétrico a ser adotado e as suas características elétricas e construtivas, que atendam as necessidades e as condições operacionais e de manutenção. A grande maioria dos projetistas e usuários finais desconhece, não somente as ditas “boas práticas de engenharia”, mas, também, as normas técnicas aplicáveis para este tipo de equipamento. A metodologia mais vigente, tanto no passado quanto no presente, é a escolha de um painel que atenda, basicamente, tensões e correntes elétricas de regime, presentes no ponto de aplicação. Porém, se levar em conta todas as interfaces existentes entre um painel elétrico e seu local, tanto físico quanto elétrico, de instalação e entre o mesmo e as pessoas que estão envolvidas na sua operação e manutenção, constata-se que o assunto é muito mais complexo.

Logo, ao se estabelecer uma relação entre o que foi exposto e o fato de que a maioria dos segmentos no mundo moderno utiliza em suas instalações elétricas em corrente alternada, para as barras de baixa tensão (valores inferiores a 1 kV) e média tensão (acima de 1 kV e inferiores a 69 kV), conjuntos de manobra e contro-

le de potência (CMCP), tais como Centros de Controle de Motores (CCM) e Centros de Distribuição de Cargas (CDC), para suprir as suas necessidades de distribuição e controle de eletricidade, conclui-se que o cenário é, no mínimo, preocupante.

É importante atentar para o fato de que os Conjuntos de Manobra e Controle de Potência se encontram, normalmente, instalados em pontos que estão associados a barras do sistema elétrico com altos níveis de demanda e de correntes de curto-circuito. Em face disto, as etapas relativas ao seu projeto, montagem, instalação, comissionamento, operação e manutenção requerem, além dos níveis mínimos para um desempenho confiável e eficaz, cuidados especiais relativos à segurança humana e patrimonial. Por exemplo, muitos setores da indústria já reconhecem a real importância da identificação e da prevenção dos riscos associados à ocorrência de arcos elétricos, e, por conta disso, veem, não somente, a necessidade de se quantificar os níveis existentes de energia incidente no ponto da instalação, como a de se estabelecer os programas de segurança que, entre outros pontos, envolvem o uso de etiquetas informativas dos valores de energia incidente, distâncias de segurança e as categorias de risco, conforme listado na NFPA 70E, com os respectivos requisitos específicos para os equipamentos de proteção, tanto individuais (EPI) quanto coletivos (EPC), para a realização de trabalho de intervenção. Porém, muitas vezes, os valores encontrados se mostram incompatíveis com condições seguras de trabalho. Em outras palavras, a abordagem do problema não se encerra simplesmente com o fim do cálculo da energia incidente e a consequente categoria de risco em que se enquadram os requisitos de um EPI ou EPC.

É fundamental se identificar os níveis reais de energia disponíveis no ponto de aplicação do equipamento e as suas possíveis causas. E, para tal, se faz necessário estabelecer duas etapas de estudos de engenharia.

A primeira etapa, conforme as recomendações do compêndio de práticas recomendadas para instalações elétricas industriais, o IEEE Std 141, está associada à definição do arranjo do sistema elétrico e níveis de tensões elétricas, em função das necessidades do mesmo e da sua interação, ou não, com a concessionária de energia:

- Definição da filosofia de operação a ser usada no sistema (acoplamento com a concessionária local, geração própria, cogeração, o uso de disjuncto-

res de interligação fechados de modo permanente ou não, a aplicação permanente ou temporária de reatores limitadores de corrente, etc.);

- Estudos de fluxo de carga (para se validar as possíveis configurações a serem usadas no sistema elétrico, etc.);
- Cálculo das quedas de tensão devidas à partida de grandes motores (para identificar requisitos de rearranjo do sistema elétrico ou alteração de especificação de equipamentos ou dos níveis de tensão usados na instalação).

A segunda etapa está associada à determinação das correntes de falta e os respectivos tempos de eliminação, seguindo, por exemplo, as orientações contidas no IEEE Std 242:

- Cálculo dos valores máximos e mínimos das correntes de curto-circuito, tanto os trifásicos quanto os monofásicos, conforme as possíveis configurações de operação;
- Estudos de coordenação e seletividade do sistema de proteção.

Somente, então, se pode, por exemplo, iniciar a análise da energia incidente e dos métodos que podem ser adotados para a sua prevenção e a mitigação de seus efeitos.

Todos sabem que um acidente em um equipamento resulta em muitos transtornos e em custos consideráveis; sendo que, muitas das vezes, o trabalhador, que estava incumbido da intervenção direta, sofre as maiores consequências, podendo perder a sua saúde ou a própria vida. Por conta disso, o conhecimento do estado da arte do projeto e do uso de conjuntos de manobras e controle de potência permite diminuir as chances de ocorrência de arcos internos e mitigar os seus possíveis efeitos, aumentando as probabilidades de salvaguardar a vida humana.

A mesma falha mencionada anteriormente, quando não coloca em risco a vida humana de forma direta, pode representar danos a diversos equipamentos, resultando na perda de parte ou totalidade dos mesmos ou dos serviços prestados. Logo, um conhecimento sólido dos projetos e do uso de conjuntos de manobras e controle de potência permite, também, melhorar o desempenho dos equipamentos e instalações.

Deste modo é preciso, cada vez mais, disponibilizar diretrizes e ferramentas que permitam aos responsáveis pela especificação e a instalação de novos conjuntos de manobra e controle, ou a modernização de unidades já existentes, terem

todas as condições para analisar e discutir as possíveis opções e recomendações e, assim, identificar aquelas que mais se adequam.

Além disso, é importante, também, incorporar as boas práticas de engenharia e as lições aprendidas pelo uso consolidado de Conjuntos de Manobra e Controle em instalações com históricos positivos de continuidade, disponibilidade e segurança.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de auxiliar os responsáveis pela tomada de decisão sobre o que fazer frente aos riscos presentes numa atividade, devido à falha em um equipamento e a energia associada a este evento, este item é dedicado a apresentar algumas sugestões e métodos disponíveis atualmente para a melhoria dos projetos de um CMCP e das condições de trabalho nas quais o elemento humano deverá efetuar uma atividade. As opções descritas contemplam, também, a redução dos níveis de energia incidente, especialmente nos casos em que estes valores se encontram acima do limite de 40 cal/cm^2 ; que é o valor máximo permitido para a intervenção humana em um equipamento energizado, conforme explicado tanto na norma NFPA 70E quanto no seu respectivo manual de aplicação.

Entre as metodologias disponíveis atualmente para a especificação e aplicação de um CMCP, se sobressaem:

- Uso de conjuntos de manobra e controle de potência, em média e baixa tensão, com construção resistente aos efeitos devidos a um arco interno;
- Uso de conjuntos de manobra e controle com limitação dos níveis de energia associados a um curto-circuito pleno ou a um arco elétrico, por filosofia pré-definida da limitação de correntes de falha ou pelo uso de dispositivos redutores de níveis de energia relacionada a arco;
- Uso de conjuntos de manobra e controle com segurança aumentada pelo uso de técnicas de redução de risco de acidente, através da limitação de possíveis causas de arco interno;
- Uso de monitoramento contínuo e ferramentas de diagnóstico preditivo;
- Uso de partidas de motores com certificação de coordenação (tipo 1 ou 2, conforme a norma IEC 60947-4-1) com o respectivo dispositivo de proteção de curto-circuito (SCPD), definidos segunda a norma IEC 60947-2;

- Modificações nas filosofias de proteção contra sobrecorrente;
- Modernização de instalações existentes;
- Alterações nos métodos de trabalho de operação e manutenção.

3. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE MT

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme a norma brasileira vigente, a ABNT NBR IEC 62271-200, e a sua equivalente no universo IEC, a IEC 62271-200, ambas sobre conjunto de manobra e controle de alta-tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 kV, a aplicação e o uso de um CMCP em Média Tensão é feita, inicialmente, com base nas características nominais necessárias ao equipamento:

- Tensão nominal (U_r);
- Nível de isolamento nominal (conjunto de valores das tensões suportáveis nominais a frequência industrial – U_d , e ao impulso atmosférico – U_p);
- Frequência nominal (f_r);
- Corrente nominal de regime contínuo (I_r);
- Corrente suportável nominal de curta-duração (I_k);
- Valor de pico da corrente suportável nominal (I_p);
- Duração de curto-circuito nominal (t_k) – tempo associado a corrente suportável nominal de curta-duração;
- Valores nominais dos componentes incluídos no conjunto de manobra e controle;
- Nível nominal para compartimentos preenchidos por fluidos.

Claro que os tópicos acima não se bastam por si só para a aplicação dos equipamentos. Um passo inicial é consultar o capítulo “8” da norma IEC 62271-200 ou de sua NBR equivalente, a ABNT NBR IEC 62271-200. Vale esclarecer que este capítulo possui três seções que ajudam na seleção dos valores nominais, do projeto construtivo a ser adotado e a classificação de arco interno, caso seja aplicável.

O material mencionado acima, mais as informações contidas na literatura técnica disponível, como, por exemplo, as normas ANSI / IEEE C37.20.2 e C37.20.3, têm como objetivo servir de guia para a seleção de conjuntos de manobra e controle de média tensão em invólucros metálicos.

É preciso atentar para as situações que apresentem desvios dos valores considerados como padrões nas normas para aplicação dos equipamentos, tais

como: temperatura, altitude, influência de radiação solar, nível de umidade ou condições especiais de serviço (presença de fumaça, pó, gases, etc.).

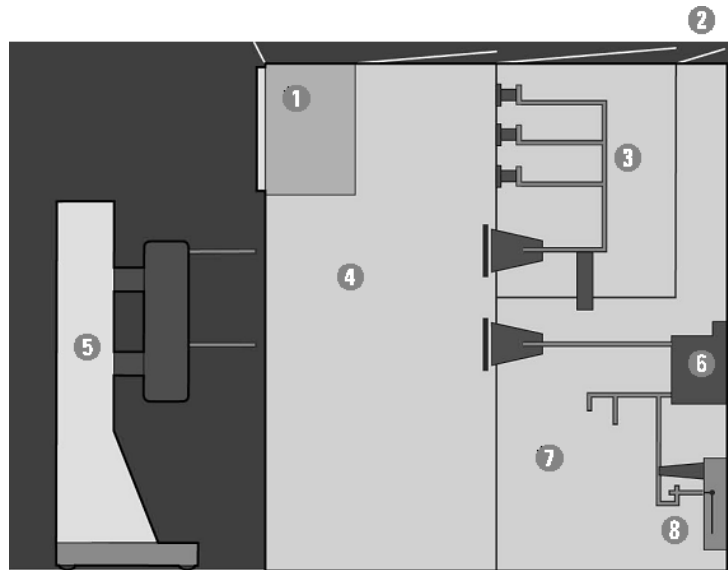
3.2. FILOSOFIA CONSTRUTIVA

Quanto a filosofia construtiva, um conjunto de manobra e controle de média tensão possui, na grande maioria dos casos, várias unidades funcionais montadas em um invólucro externo (ver Figura 3.1). Sendo que, nesta análise, conforme a ABNT NBR IEC 62271-200 e a IEC 62271-200, são abordados apenas as formas construtivas com invólucros metálicos. Estes invólucros devem prover, pelo menos, um grau de proteção IP2X, conforme definido na norma ABNT NBR 60529. Esse grau serve tanto para a proteção do equipamento contra as influências externas, quanto para a proteção humana no que diz respeito a aproximação ou contato com partes vivas e contra contato com as partes móveis.



Figura 3.1- Vista frontal de um CMCP de MT

Uma unidade funcional (UF), conforme a definição apresentada nas normas ABNT NBR IEC 62271-200 e IEC 62271-200, é a parte da estrutura com os componentes dos circuitos principais e auxiliares relativos a um única função, como por exemplo: unidade de entrada, unidade de saída, etc.. A visualização interna de uma UF típica é mostrado na Figura 3.2.



Legenda:

1. Compartimento de BT
2. Dispositivo de alívio de sobrepessão (alívio de gases).
3. Compartimento do barramento principal.
4. Compartimento do elemento de manobra.
5. Elemento de manobra (disjuntor ou contator com fusíveis limitadores de corrente)
6. Transformadores de corrente (TCs).
7. Terminação dos cabos de potência.
8. Chave de aterramento.

Figura 3.2- Visualização esquemática de uma seção de um CMCP de MT

Uma das formas construtivas mais usada atualmente na montagem de uma unidade funcional em um conjunto de manobra e controle de média tensão é o arranjo com um disjuntor (elemento de manobra) por coluna (seção), montado a meia altura (aproximadamente, no terço médio da mesma). Esta forma pode ser denominada como: “Um elemento por coluna”. Dentro deste contexto, uma unidade funcional, na maioria das vezes, se confunde com a própria seção e/ou coluna em que está montada, como pode-se ver na Figura 3.3.

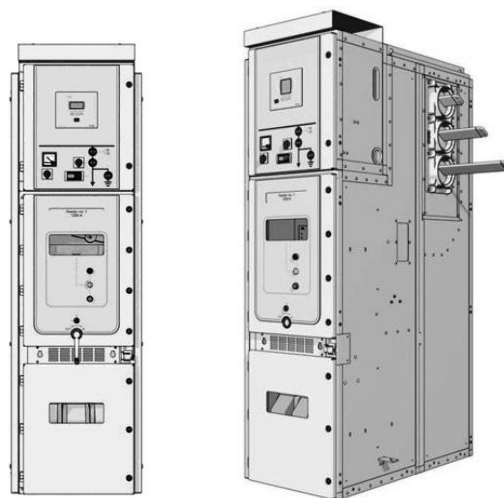
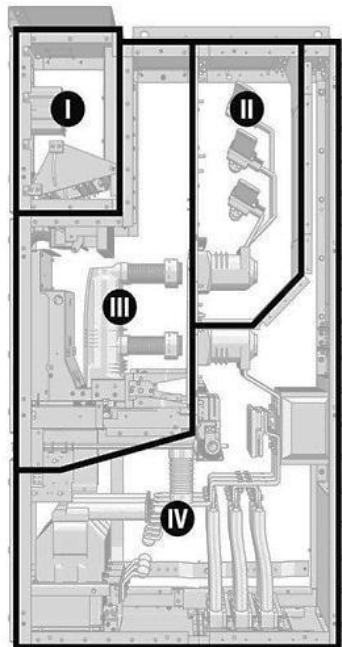


Figura 3.3- Exemplo de Unidade Funcional (UF)

Uma unidade funcional (UF) apresenta, além do compartimento de controle, também chamado de BT (baixa tensão), outros compartimentos onde pode existir a presença de alta tensão (valores acima de 1 kV em CA), os quais podem ser chamados de principais ou de potência (ver Figura 3.4).



Legenda:

- I. Compartimento de BT.
- II. Compartimento do barramento principal.
- III. Compartimento do elemento de manobra (disjuntor ou contator).
- IV. Compartimento de conexão (cabos de potência).

Figura 3.4- Compartimentos de um unidade funcional típica de MT

Os compartimentos principais (aqueles que possuem a possibilidade de presença de alta tensão) podem ser do tipo:

- Acessível; ou
- Não acessível.

Um compartimento dito acessível pode ter o seu acesso controlado com base em:

- Intertravamento;
- Procedimento; ou
- Uso de Ferramenta.

A interação entre os tipos de compartimentos e a acessibilidade dos mesmos é apresentada, de forma resumida, na Tabela 3.1.

Neste processo de compreensão quanto a maneira de se dispor os compartimentos dentro de uma unidade funcional, o próximo passo é absorver os conceitos de divisão e obturador. Ambas as partes são barreiras físicas que devem prover, no que diz respeito a segurança humana, pelo menos, um grau de proteção IP2X (“toque por dedo”), conforme descrito na norma ABNT NBR 60529.

A divisão é a parte construtiva interna do conjunto que separa um compartimento dos demais. Quando condutores do circuito principal (alta-tensão) tiverem que atravessar divisões, devem ser previstas buchas de passagem ou sistema equivalente que garantam o IP requerido.

Tabela 3.1: Tipos de compartimentos em relação à sua acessibilidade.

Tipos		Características	
<i>Compartimento acessível ao operador</i>	Acessível com base em intertravamento.	A ser aberto em condições normais de operação e manutenção.	Não são necessárias ferramentas para abertura. Intertravamentos previnem o acesso à alta tensão.
	Acessível com base em procedimento.	A ser aberto em condições normais de operação e manutenção.	Não são necessárias ferramentas para abertura. Procedimentos e travas previnem o acesso à alta tensão.
<i>Compartimento com acesso especial</i>	Acessível com base em ferramenta.	Passível de ser aberto, mas não durante condições normais.	São necessárias ferramentas para abertura. Podem ser necessários o uso de procedimentos especiais de manutenção.
<i>Compartimento não acessível</i>	Não é possível ao usuário abrir.	Não é previsto para ser aberto.	A abertura destrói o compartimento ou está indicado claramente ao usuário. A acessibilidade não é relevante.

Os obturadores, também conhecidos como guilhotinas, são utilizados nas divisões dos compartimentos para cobrir, de forma automática, as aberturas de acesso aos contatos fixos quando ocorre a retirada de partes removíveis ou extraíveis. Essa filosofia visa evitar a exposição dos contatos fixos que podem estar, ou não, energizados, e assim garantir a proteção das pessoas. Normalmente, os contatos fixos são montados em campânulas que funcionam como “buchas de passagem” entre compartimentos, trazendo um circuito de alta-tensão para o contato fixo de conexão ao elemento móvel.

A divisão e o obturador são classificados em função do tipo de material utilizado na sua constituição. Assim, com base nessa abordagem, existem duas categorias de divisória, conforme apresentado na Tabela 3.2: a de partição metálica (PM) ou a de partição isolante (PI).

Tabela 3.2: Categorias das partições entre partes vivas e compartimento acessível aberto.

Tipos de Categorias	Características
PM	Obturadores metálicos e divisão metálica entre as partes vivas e o compartimento aberto (mantida a condição de invólucro metálico).
PI	Descontinuidade nas divisões metálicas ou nos obturadores metálicos, existentes entre as partes vivas e o compartimento aberto, devido ao uso de partes isolantes.

O objetivo principal de se adotar a categoria PM é que nenhum campo elétrico esteja presente em um compartimento principal quando da abertura do mesmo e que, também, não ocorram alterações nos campos elétricos dos compartimentos vizinhos.

Outro termo relativo a construção de um conjunto de manobra e controle é “segregação de condutores”. Essa denominação se aplica ao uso de barreira entre as partes energizadas, de forma que qualquer ocorrência de uma descarga elétrica só possa vir a ocorrer para a terra.

Dentro, também, do contexto da filosofia construtiva a ser adotada para um conjunto de manobra e controle, a norma IEC 62271-200 define uma classificação baseada na capacidade dos conjuntos de manobra e controle manterem a “Continuidade de Serviço”, enquanto um dos seus compartimentos é aberto. A classificação quanto a perda de continuidade de serviço, associada à sigla “LSC” (“Loss of Service Continuity”), está baseada na condição que fica a operacionalidade de um conjunto quando da abertura de um compartimento (de potência) acessível de uma unidade funcional.

Tabela 3.3: Classificação dos tipos de categoria quanto à perda de continuidade de serviço quando da abertura de um compartimento acessível.

Tipos de Categorias	Características
LSC1	Não é prevista a continuidade de serviço quando da abertura de um compartimento acessível de uma UF. No mínimo, outra UF terá que ser desenergizada. Pode ser necessário o desligamento e o aterramento de todo o conjunto.
LSC2	Permite uma maior continuidade de serviço durante o acesso ao compartimento de conexão (cabos de potência). No mínimo, o barramento principal deve poder ser mantido energizado. As demais UFs podem operar normalmente.
LSC2	-A UF da categoria LSC2 em que qualquer compartimento acessível, com exceção do barramento principal em conjuntos de barra simples, ao ser aberto permite que o barramento principal possa estar energizado e as demais UFs possam operar normalmente.
	-B UF similar a LSC2A em que o respectivo compartimento de conexão (cabos de força) pode, também, permanecer sob tensão. O barramento principal, demais unidades funcionais e todos os compartimentos de cabos podem estar energizados e operar normalmente.

As representações esquemáticas dos arranjos construtivos para UF de MT apresentadas na seção 8.3 (“Selection of design and construction”) da IEC 62271-200 são reproduzidas, com o texto explicativo dos componentes em português, na Figura 3.5, para exemplificações das classificações LSC1 e LSC2, e na Figura 3.6, para os exemplos dos casos relativos às classes LSC2A e LSC2B.

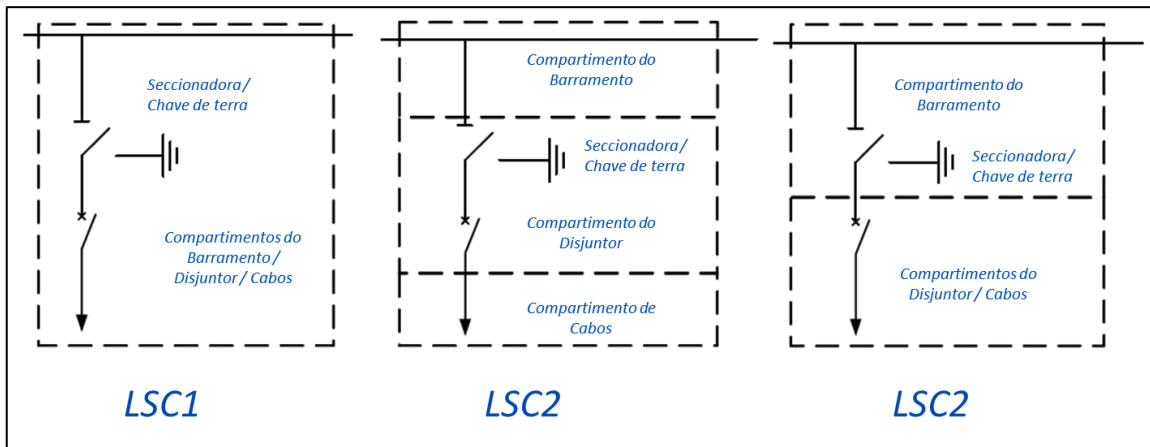


Figura 3.5- Classificações LSC1 e LSC2 para UF de MT

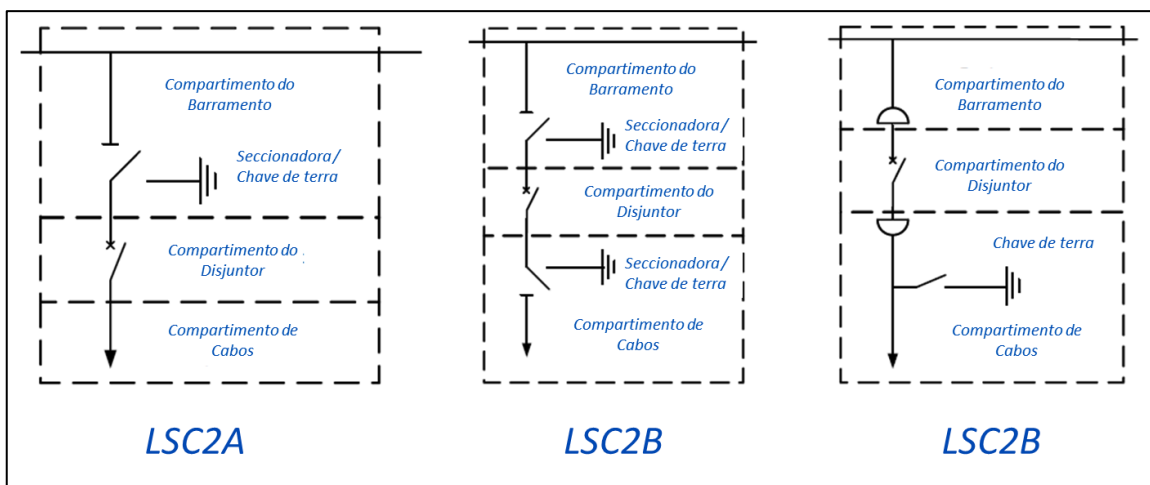
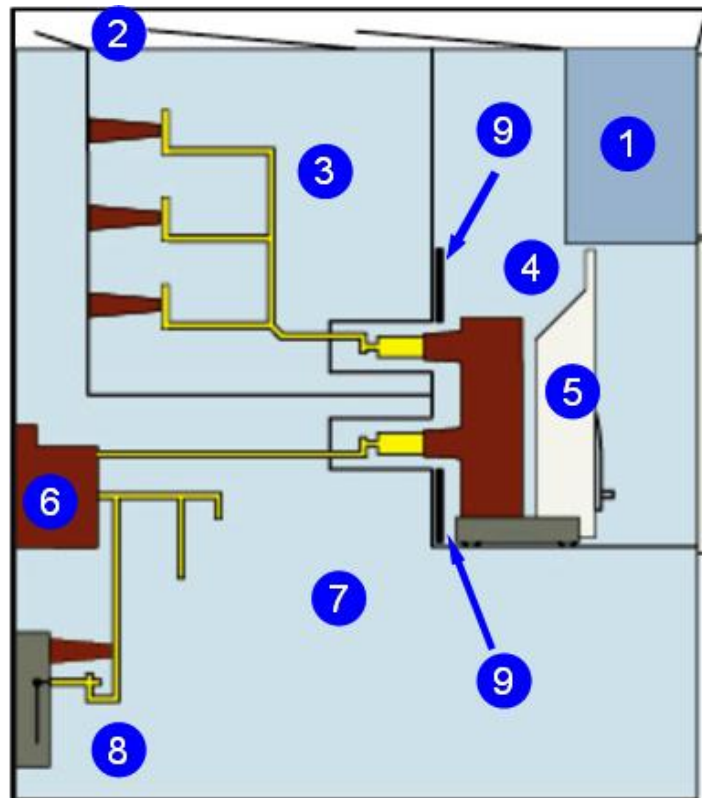


Figura 3.6- Classificações LSC2A e LSC2B para UF de MT

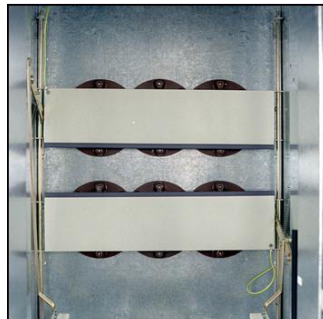
A “família” LSC2, com todas as suas variantes, permite uma maior continuidade de serviço durante o acesso aos compartimentos de MT; sendo que a categoria LSC2B é a que permite a maior continuidade possível.

Na Figura 3.7 é apresentada uma exemplificação do arranjo típico dos compartimentos e dos componentes usados numa coluna com padrão construtivo utilizando um só dispositivo de manobra (disjuntor, neste exemplo), montado no compartimento intermediário da parte frontal. Esta configuração é conhecida como “mid-high” ou “one-high”: um elemento de manobra por coluna (seção vertical), e

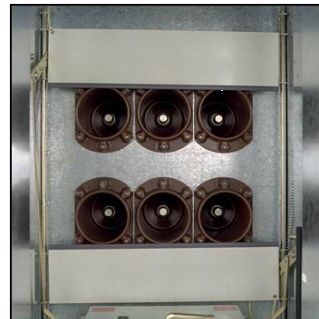
muito comum dentro da “escola europeia” (IEC).



Guilhotinas fechadas



Guilhotinas abertas



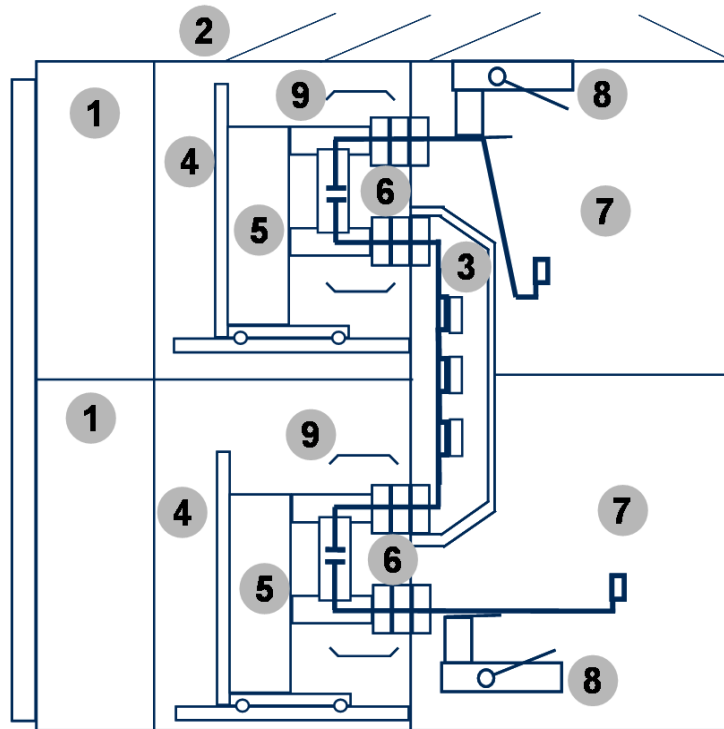
Legenda:

1. Compartimento de controle (BT).
2. Dispositivos de alívio de pressão.
3. Compartimento de barras.
4. Compartimento de elemento principal de manobra.
5. Disjuntor extraível.
6. Transformadores de corrente (TCs).
7. Compartimento de cabos.
8. Chave de aterramento.
9. Guilhotinas (“shutters”) metálicas. (ver os detalhes, mostrando as mesmas nas posições: “fechada” e “aberta”)

Figura 3.7- Compartimentos de um CMC de MT com uma unidade funcional por coluna

Na Figura 3.8 se pode ver um exemplo do arranjo usual dos compartimentos e componentes de uma coluna com padrão construtivo que utiliza duas unidades funcionais em uma mesma seção, com um elemento de manobra (disjuntores, nes-

te caso) em cada, montados nos compartimentos (posicionados um em cima do outro) da parte frontal da estrutura. Esta configuração é denominada de “two-high” ou “double-tier”: dois elementos de manobra por coluna (seção vertical). É muito adotada pela escola “norte-americana” (ANSI).



Guilhotinas fechadas



Guilhotinas abertas



Legenda:

1. Compartimento de controle (BT).
2. Dispositivos de alívio de pressão.
3. Compartimento de barras.
4. Compartimento de elemento principal de manobra.
5. Disjuntor extraível.
6. Transformadores de corrente (TCs).
7. Compartimento de cabos.
8. Chave de aterramento.
9. Guilhotinas (“shutters”) metálicas. (ver os detalhes, mostrando as mesmas nas posições: “fechada” e “aberta”)

Figura 3.8- Compartimentos de um CMC de MT com duas unidades funcionais por seção

Ambas as normas, IEC e NBR equivalente, referenciadas no primeiro parágrafo deste capítulo, apresentam uma classificação relacionada à segurança pessoal em caso de um arco interno. Ela é construída partindo-se da denominação “IAC” (“Internal Arc Classification”), conforme apresentado na Tabela 3.4. Sendo que, a esta sigla, estão associados os tipos de acessibilidade a cada face de um conjunto de manobra e controle, além do valor eficaz da corrente e do tempo de ensaio nas condições de arco interno. As categorias são definidas levando-se em conta os riscos mecânicos, elétricos e de incêndios no caso de um arco interno durante a operação normal de um conjunto de manobra e controle.

Tabela 3.4: Classificação de um CMCP de MT no caso de um arco interno.

Tipos de Categorias	Características
IAC (“Internal Arc Classification”)	Não pode ocorrer nenhuma ejeção de partes, nenhuma ignição de roupas / tecidos e o aterramento do invólucro deve permanecer efetivo.

Os complementos necessários para se configurar esta classificação quanto ao evento de um arco interno são os seguintes:

- Tipo de Acessibilidade: A (restrito – limitado a pessoal autorizado), B (não restrito – inclusive público em geral) ou C (restrito por colocação fora do de alcance e acima da área de acesso – aplicável às configurações do tipo “pole-mounted”).
- Lados do CMC aos quais se aplicam a acessibilidade: F (frente), L (lateral) e R (traseira).
- Valores ensaiados: corrente de falta (kA eficazes simétricos) e a duração em segundos.

Exemplos de classificação IAC:

- IAC – BFLR – 16 kA – 0,1 s.
- IAC – BF-AR – 20 kA – 0,5 s.

Cabe esclarecer que a classificação IAC, presente nas normas ABNT NBR IEC 62271-200 e a IEC 62271-200, não se aplica para compartimentos abertos e nem para a proteção entre compartimentos. Estes esclarecimentos implicam no fato de que, caso haja algum compartimento com a respectiva porta ou tampa aberta, não se pode garantir o desempenho do CMCP de MT sob condições de

falha devida a um arco interno. E, além disso, fica implícito que não se pode considerar seguro nenhum dos compartimentos adjacentes a aquele no qual possa ocorrer o defeito.

3.3. ALGUNS DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE CMCP EM MT

Porém, como já afirmado anteriormente, a aplicação de um conjunto de manobra e controle de média tensão vai além da simples acomodação dos valores nominais do equipamento aos que são requeridos pelo sistema ou a escolha de uma determinada forma construtiva. Um exemplo importante e muito recorrente na aplicação de cubículos é o descuido com o valor de pico nominal da corrente de curto-circuito. Este valor, determinado pela relação X/R vista entre a barra do painel e a(s) fonte(s) do sistema elétrico, implica não somente no comportamento dinâmico nas barras do CMCP proveniente dos esforços mecânicos produzidos pela corrente de curto-circuito no 1º semiciclo da fase mais assimétrica (i_p – valor instantâneo de pico) interagindo com as outras fases; como também está associada à aplicação correta dos elementos de proteção (transformadores de corrente e relés) e de manobra (disjuntores, contadores e fusíveis limitadores).

Na Figura 3.9 é reproduzido o gráfico associado a uma simulação de uma corrente de curto-circuito monofásico correspondente às condições padronizadas de X/R igual a 17 (valor associado a uma constante de tempo de 45 ms em sistemas com frequência de 60 Hz).

A análise básica dos parâmetros relacionados ao valor instantâneo de pico do primeiro semiciclo da corrente suportável nominal do conjunto de manobra e controle de MT está baseada numa relação entre o mesmo e o valor eficaz da componente simétrica de curto-circuito e é igual à constante “2,6”. Na verdade, este valor se deve a relação $X/R = 17$, que é aproximadamente igual ao produto da constante de tempo (τ), igual a 45 ms, e a velocidade angular (ω) do sistema para a frequência de 60 Hz, conforme equações (3.1) e (3.2).

$$\frac{X}{R} = \frac{\tau}{1000} \times \omega \quad (3.1)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (3.2)$$

$$\frac{X}{R} = \frac{45}{1000} \times 2\pi \times 60 = 16,9646$$

A IEC 60909, através das equações (3.3) e (3.4), define as seguintes relações entre o valor de X/R, o valor eficaz da componente simétrica da corrente subtransitória de curto-circuito (I_k'') e o valor instantâneo de pico do 1º semiciclo (i_p).

$$i_p = k \times \sqrt{2} \times I_k'' \quad (3.3)$$

$$k = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} \quad (3.4)$$

$$i_p = \left(1,02 + 0,98e^{\frac{-3}{17}} \right) \times \sqrt{2} \times I_k'' = 2,6042 \times I_k''$$

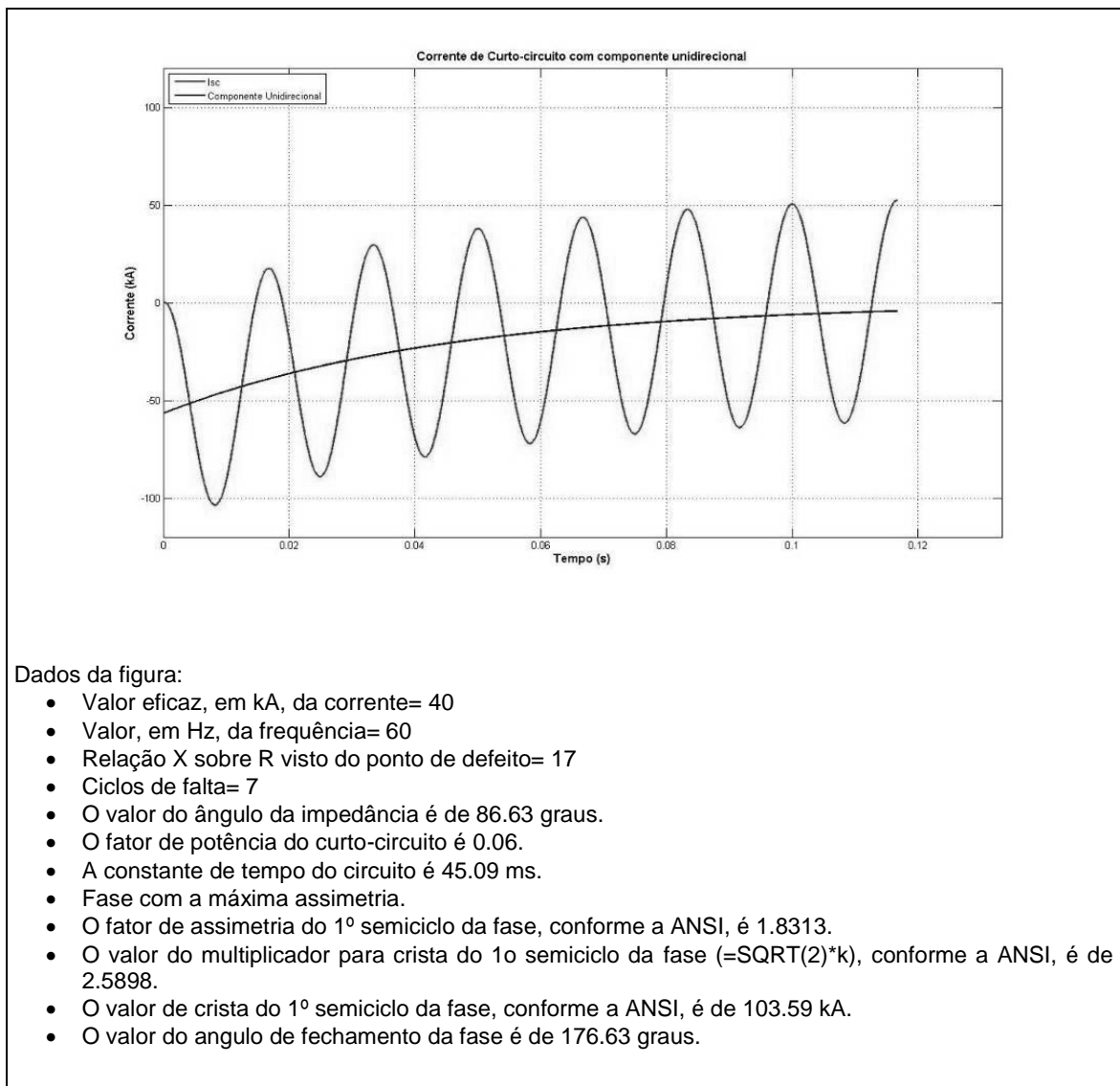


Figura 3.9- Simulação gráfica da corrente de um curto-circuito monofásico

A norma para disjuntores de alta-tensão “IEC 62271-100 / 2008-04” (“High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers”)

define que para uma constante de tempo (relação L/R) igual a 45 milissegundos, os valores a serem usados para obter a crista do primeiro semiciclo de corrente são:

- 2,5 para sistemas com $f_r = 50$ Hz;
- 2,6 para sistemas com $f_r = 60$ Hz;
- 2,7 para ambas as frequências e constante de tempo igual a 120 ms (caso especial).

Em termos mecânicos, para um curto-circuito trifásico franco (impedância zero no ponto de falha) basta uma simples análise da fórmula (2) da norma IEC 60865-1 / 1993 (“Short-circuit currents – Calculation of effects. Part 1: Definitions and calculation methods”), reproduzida na equação (3.5), para se notar que o aumento do valor instantâneo de pico da corrente de semiciclo implica numa variação quadrática na força resultante: por exemplo, 10% a mais de corrente significam 21% a mais de força sobre as barras.

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times i_{p3}^2 \times \frac{l}{a_m} \quad (3.5)$$

Onde:

- F_{m3} : força no condutor principal (fase) central devido a um curto-circuito trifásico;
- μ_0 : constante magnética, permeabilidade do vácuo;
- i_{p3} : Valor instantâneo de crista do primeiro semiciclo da fase com maior assimetria em um curto-circuito trifásico;
- l : distância entre centro de linha dos suportes;
- a_m : distância efetiva entre condutores principais adjacentes.

A condição de alta assimetria (valores atípicos da relação X/R) tem sido observada, por exemplo, em unidades de extração e produção marítimas (“off-shore”) de petróleo. A distância e a necessidade de deslocamento destas unidades torna necessária a independência de suprimento de energia elétrica. Tem-se notado uma tendência de ser usar de 3 a 4 turbogeradores, em 13,8 kV, com potência variando de 20 a 38 MVA. Na Figura 3.10 pode-se ver parte de um diagrama unifilar (DU) de uma unidade petroquímica; enquanto que na Figura 3.11 é mostrada parte do CMCP de MT associado a barra de 13,8 kV desta instalação.

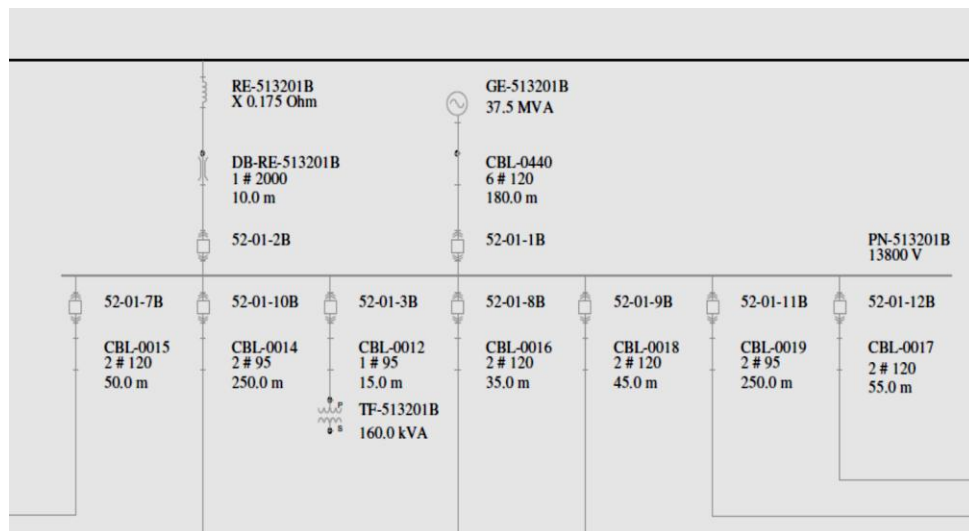


Figura 3.10- DU parcial de uma unidade petroquímica com turbogeradores



Figura 3.11- Vista parcial do CMCP de MT correspondente ao DU da Figura 3.10

Um problema crítico é a aplicação correta dos disjuntores, já que este tipo de equipamento é ensaiado para uma constante de tempo padronizada (45 ms). Uma alternativa usada em alguns casos especiais para adequar à capacidade nominal de interrupção de um disjuntor a uma constante de tempo maior é retardar a abertura do mesmo, permitindo que a onda de corrente reduza a sua assimetria e, então, se enquadre na capacidade do elemento interruptor. Se forem tomados os cuidados devidos para a solicitação dinâmica e térmica, aparentemente, não se vê muito problema. Mas se levarmos em conta acidentes internos ao conjunto de manobra onde está instalado o disjuntor, este mesmo retardo implica, caso o evento ocorra com porta ou tampa aberta, em uma maior exposição humana a energia associada ao arco. Este problema pode ser contornado com o uso de sistemas

detectores e/ ou supressores de arco.

Outro fator importante que não se deve descuidar no caso de se adotar um retardo na abertura de disjuntores no caso descrito no parágrafo anterior é o impacto do curto-circuito na operação das máquinas girantes e na estabilidade do próprio sistema sob falha. A demora deve ser avaliada de forma criteriosa para não existir nenhuma possibilidade da instalação perder a sua sincronia com o restante do sistema.

Estas condições tem levado ao uso de disjuntores específicos para aplicação com geradores, conforme a IEEE Std C37.013.

Continuando a análise da influência da relação de X/R sobre a aplicação de um CMCP de MT, tem-se que atentar para outro problema: a implicação do alto valor de assimetria sobre o desempenho dos TCs (transformadores de corrente) usados no painel.

A saturação de um TC não se deve somente ao alto valor eficaz da componente simétrica da corrente de curto-circuito. Existem outros fatores como nível de remanência no núcleo do transformador, a carga imposta no circuito secundário do mesmo e, principalmente, a uma grande assimetria (componente contínua – relação X/R do circuito primário do TC).

Na Figura 3.12, é possível estabelecer uma comparação visual das formas e dos valores eficazes das correntes secundárias de transformador de corrente (TC) de relação 2000-5 A, quando submetido a uma corrente em condição simétrica (primeira visualização) e de assimetria total (segunda visualização) para os valores primários relativos a um curto-circuito de 36 kA eficazes e $X/R= 48$ (constante de tempo de 127 ms). Este TC está conectado a uma carga secundária (Z_{SEC}) de $(0,04+j0,001)$ ohms.

A forma com maior assimetria no primeiro semiciclo (não distorcida e representada na cor azul), vista na segunda visualização, demonstra a condição teórica para um TC ideal (livre de qualquer saturação). Já a outra, com assimetria menor no primeiro semiciclo (distorcida e representada na cor preta) mostra a condição real, com a saturação do TC para uma carga secundária com impedância de, aproximadamente, 40 miliohms.

Um TC saturado pode levar a proteção a não atuar no tempo correto e implicar não somente em transtorno na coordenação e continuidade / confiabilidade do

sistema elétrico ou danos aos equipamentos, como pode também aumentar a exposição de um trabalhador a energia liberada por um arco elétrico.

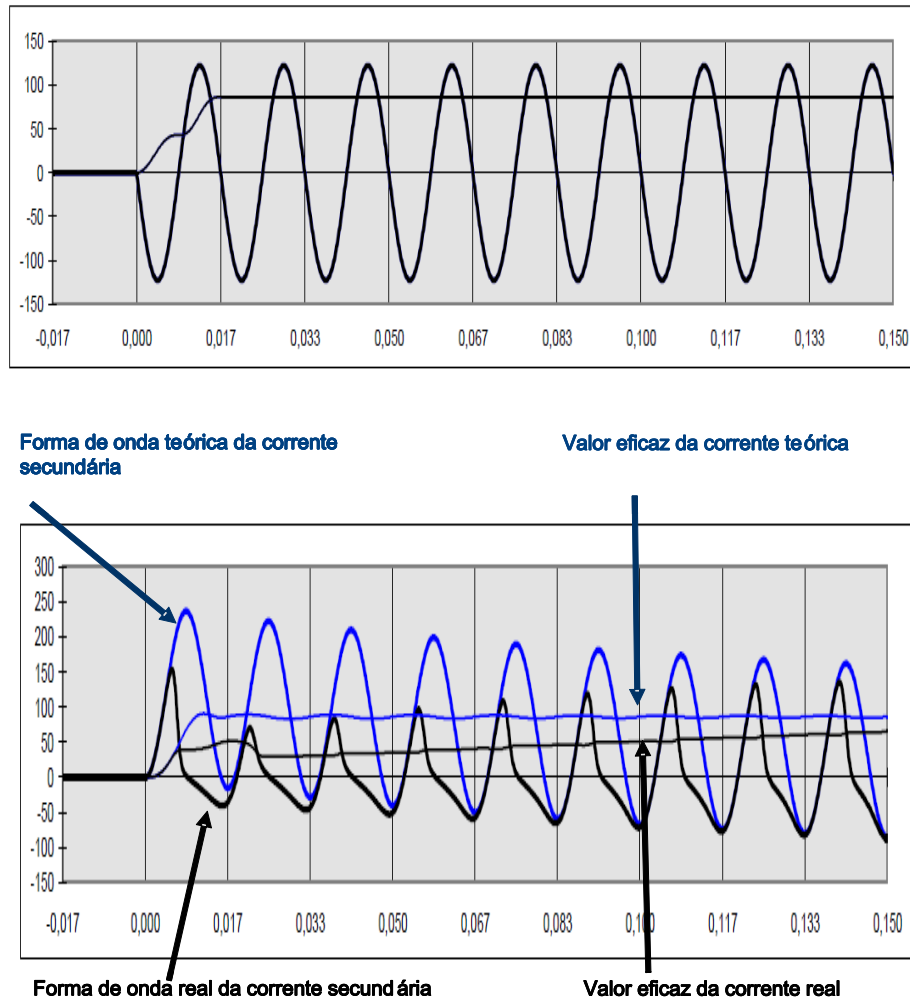


Figura 3.12- Comparação das formas de onda e dos valores eficazes das correntes secundárias de um Transformador de Corrente

Pode-se observar na segunda imagem da Figura 3.12 (visualização das correntes secundárias “teórica” e “real” para a condição de máxima assimetria no primário) que a forma no secundário do TC em 6 ms já mostra sinais do início de saturação, que se estende por mais de 100 ms. Pode ser que o tempo até o início da saturação não seja suficiente para atuar o elemento instantâneo da proteção de sobrecorrente, principalmente no caso de uso de relés microprocessados onde os filtros das entradas de corrente retiram todas as harmônicas do sinal, deixando apenas a fundamental com um valor insuficiente para a partida da respectiva unidade do elemento de proteção.

Uma maneira de se contornar este problema é o uso de relés microprocessados que possuam algoritmos que permitam lidar com as condições transitórias de sinais de corrente distorcidos pela forte saturação no núcleo do TC. Outra abor-

dagem é calcular o que o IEEE define como tempo até saturação, conforme as referências IEEE Std C37.110 e IEEE Transient Response of Current Transforms (sendo esta última um resumo do relatório “IEEE Publication 76 CH 1130-4 PWR”), e verificar se este valor é suficiente para permitir a atuação da proteção.

Em outros casos, é necessária a aplicação de transformadores de corrente com relações de transformação e cargas nominais (“burdens”) maiores. Mesmo que esta solução seja adequada para o uso e ajustes dos relés de proteção acoplados, o problema nesta solução é o volume a ser ocupado por este componente. Um CMC de MT é ensaiado para suportar uma série de impulsos atmosféricos com uma determinada configuração. A inclusão de outros componentes deve ser cuidadosamente avaliada quanto às novas distâncias dielétricas, de forma a se garantir que os gradientes presentes no interior do painel estejam de acordo com a classe de isolamento do equipamento. Apesar de muitas vezes, o simples uso das distâncias baseadas nas práticas de engenharia do fabricante bastar para demonstrar a correta adequação do novo arranjo, existem situações em que se fazem necessárias a realização de novos ensaios de verificação do NBI do conjunto. O crítico é que a maioria dos usuários desconhece, por exemplo, a prática comum nos Estados Unidos de se aceitar a validação da UL para as práticas de engenharia usadas pelo fabricante. Associado a essa situação, existe o fato de nem sempre os arranjos serem de fácil avaliação, mesmo com o uso de programas computacionais para representação gráfica das linhas de campo elétrico e seus respectivos gradientes.

A Figura 3.13 apresenta os oscilogramas de 15 aplicações positivas e 15 negativas de tensão de surto atmosférico, com 95 kV de pico e com forma padronizada de 1,2/50 microsegundos, para a verificação do NBI (“Nível Básico de Isolamento ao Impulso Atmosférico”), equivalente ao “BIL” (“Basic Impulse Level” – conforme as normas ANSI), da fase “B” de uma configuração especial implementada em um CMCP de MT para o acoplamento de um duto de barras de uma unidade geradora, conforme mostrado na Figura 3.14.

Apesar de ser sido demonstrado a adequação do novo arranjo com base nas práticas de engenharia do fabricante para um equipamento de classe de tensão de 15 / 17,5 kV (NBI igual a 95 kV de pico), o usuário final solicitou a realização de ensaio em laboratório independente. E, como se pode notar na Figura 3.13, o equipamento suportou todas as aplicações sem nenhuma descarga disruptiva (“flashover”) no isolamento autoregenerativo, apesar das normas IEC aceitarem a

ocorrência de até duas dessas.

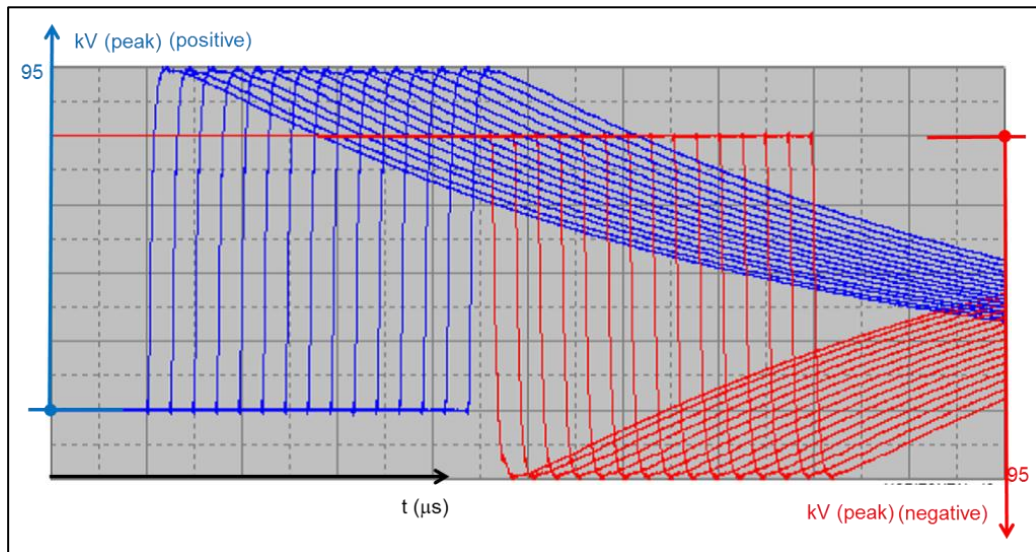


Figura 3.13- Oscilogramas para verificação de suportabilidade ao impulso atmosférico



Figura 3.14- Configuração interna do CMCP de MT ensaiado para verificação do NBI

Estes são apenas alguns exemplos dos diversos cuidados que se fazem necessários quando da aplicação de um conjunto de manobra e controle de média tensão e seus componentes de chaveamento e proteção; principalmente, quando se tem a segurança humana e patrimonial como foco.

3.4. VERIFICAÇÕES DE DESEMPENHO DE CMCP EM MT

É óbvio que, além de todos os cuidados mencionados anteriormente quanto à interação de um equipamento com o sistema elétrico onde o mesmo vai ser instalado, toda e qualquer aplicação de um CMC de MT demanda que este produto tenha todos os ensaios de tipo conforme as normas aplicáveis; devendo os mesmos estar em consonância com as condições existentes na aplicação.

Para a norma “IEC 62271-200” e sua NBR equivalente, a lista de ensaios de

tipo requeridos é a seguinte:

1. Ensaio obrigatórios:
 - 1.1. Verificação do nível de isolamento;
 - 1.2. Verificação da elevação de temperatura das diversas partes e medição da resistência dos circuitos;
 - 1.3. Verificação da suportabilidade dos circuitos principal e de aterramento à corrente de curta duração nominal e seu respectivo valor de pico;
 - 1.4. Verificação da capacidade de estabelecimento e interrupção dos dispositivos de manobra;
 - 1.5. Verificação da operação satisfatória dos dispositivos de manobra e partes removíveis;
 - 1.6. Verificação do grau de proteção (ensaios para o 1º numeral e uma possível letra adicional para segurança humana).
2. Ensaio obrigatórios, onde aplicáveis:
 - 2.1. Verificação da proteção de pessoas contra efeitos elétricos perigosos;
 - 2.2. Verificação dos compartimentos preenchidos a gás quanto a sua resistência mecânica;
 - 2.3. Verificação dos compartimentos preenchidos a gás quanto à sua estanqueidade;
 - 2.4. Avaliação dos efeitos de um arco devido a uma falha interna (classificação IAC);
 - 2.5. Ensaio de compatibilidade eletromagnética (EMC).
3. Ensaio opcionais (sujeitos a acordo entre o fabricante e o usuário):
 - 3.1. Verificação da proteção contra os efeitos externos devidos à intempérie;
 - 3.2. Verificação da proteção contra impacto mecânico;
 - 3.3. Verificação do nível de descargas parciais;
 - 3.4. Ensaio de poluição artificial;
 - 3.5. Ensaio dielétricos para permitir teste com os cabos de força conectados.

Para estas normas, a lista de ensaios de rotina é a seguinte:

1. Ensaio dielétrico no circuito principal;
2. Ensaio em circuitos auxiliares e de controle (a inspeção e a verificação de conformidade com os diagramas de circuitos e de fiação, testes funcionais, a verifi-

- cação da continuidade elétrica das partes metálicas aterradas e ensaios de tensão aplicada à frequência industrial – 1 kV / 60 Hz / 1 s);
3. Medição da resistência ôhmica do circuito principal (este ensaio está sujeito a acordo entre fabricante e usuário);
 4. Ensaio de estanqueidade (quando aplicável);
 5. Verificações visuais e de projeto;
 6. Medição de descargas parciais (este ensaio está sujeito a acordo entre fabricante e usuário);
 7. Ensaio de operação mecânica (pelo menos 5 operações ou tentativas em cada direção);
 8. Ensaio de pressão de compartimentos preenchidos a gás (quando aplicável);
 9. Verificação dos dispositivos auxiliares (bomba de óleo, solenoide de mecanismo de operação de chave de aterramento, etc.) elétricos, pneumáticos e hidráulicos;
 10. Ensaio depois de montagem no local de uso: deve se verificar a operação correta do CMC e efetuar ensaio de tensão aplicada no circuito principal (com valor limitado a 80% do aplicado em fábrica). Nos casos aplicáveis, deve-se verificar a estanqueidade e medir a condição do fluido após preenchimento.

Pela norma “ANSI / IEEE C.37.20.2”, a lista de ensaios requeridos é:

1. Ensaio de Tipo:
 - 1.1. Ensaio dielétricos;
 - 1.2. Corrente nominal permanente (elevação de temperatura);
 - 1.3. Suportabilidade a corrente momentânea;
 - 1.4. Suportabilidade a corrente de curta duração;
 - 1.5. Suportabilidade a corrente momentânea do sistema de desconexão das partes auxiliares removíveis (gavetas de transformadores de potencial e transformadores auxiliares de controle);
 - 1.6. Operação mecânica;
 - 1.7. Materiais isolantes do barramento principal;
 - 1.8. Resistência a chama do isolamento aplicado a barramentos;
 - 1.9. Ensaio de qualificação da pintura;
 - 1.10. Ensaio de chuva para equipamentos para uso externo.

Para esta norma ANSI, os ensaios realizados na produção (ensaios de rotina) são os seguintes:

1. Ensaio dielétrico (valor de tensão suportável, aplicada a frequência industrial) no circuito principal;;
2. Ensaios de operação mecânica;
3. Medição da resistência ôhmica do circuito principal (este ensaio está sujeito a acordo entre fabricante e usuário);
4. Ensaio de verificação do aterramento das carcaças metálicas dos transformadores de instrumento;
5. Ensaios de cabeamento de controle e operação elétrica (verificação da continuidade da fiação de controle, verificação da isolação da fiação, verificação de polaridade e teste de operação sequencial).

A ANSI C37.20.2 apresenta algumas recomendações para o caso de se realizar testes dielétricos em campo nos circuitos principais (limitar o valor de ensaio a 75% do que é solicitado para o teste em fábrica).

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas as principais características e desafios relativos a aplicação de Conjuntos de Manobra e Controle de Potência em Média Tensão, descrevendo-se as suas principais filosofias construtivas e os seus requisitos. Na sequência, foram descritos alguns dos desafios encontrados na aplicação e uso destes equipamentos. E no fechamento deste capítulo, foram listados os ensaios de tipo e de rotina associados a um CMCP de MT, recomendados pelas normas IEC / ABNT e ANSI / IEEE.

4. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE BT

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No caso da baixa tensão (até 1000 V em corrente alternada), a aplicação de um conjunto de manobra e controle, exemplificada na Figura 4.1, é feita, inicialmente, com base nas características nominais necessárias ao equipamento:

- Tensão nominal (U_n);
- Tensão nominal de operação (U_e);
- Tensão nominal de isolamento (U_i);
- Tensão suportável nominal de impulso (U_{imp});
- Corrente nominal (I_n);
- Corrente suportável nominal de curta-duração (I_{cw});
- Corrente suportável nominal de pico (I_{pk});
- Corrente nominal condicional de curto-circuito (I_{cc});
- Corrente nominal de curto-circuito limitada por fusível (I_{cf});
- Fator nominal de diversidade;
- Frequência nominal (f_n).



Figura 4.1- Vista frontal de um CMCP de BT

Conforme já comentado no capítulo 3, relativo aos Conjuntos de Manobra e Controle de Média Tensão, os requisitos nominais para um painel elétrico, como os

listados anteriormente, não são suficientes para definir sua aplicação. É necessário se levar em conta as condições de serviço e as características construtivas requeridas. As informações e recomendações contidas no capítulo “6” (Condições de serviço) e no capítulo “7” (Projeto e Construção) da norma ABNT NBR IEC 60439-1 devem servir de base para se estabelecer os critérios de uso.

A norma ABNT mencionada no parágrafo anterior ainda é válida em todo território nacional, mas o seu documento de origem, a IEC 60439-1, foi substituída por uma revisão técnica em janeiro de 2009. Similar ao que já existe para a média tensão, foi criada, também, uma “família normativa” através de agrupamento por numeração, a IEC 61641, para os Conjuntos de Manobra e Controle de Baixa Tensão. Dentro deste novo contexto, as características nominais listadas anteriormente ainda se mantêm válidas. O ponto que se destaca nesta revisão, conforme ilustrado na Figura 4.2, é a divisão da antiga IEC 60439-1 (cancelada) em duas novas normas:

- IEC 61641-1: Cláusulas Gerais;
- IEC 61641-2: Conjuntos de Manobra e Controle de Potência de Baixa Tensão.

É interessante notar a preocupação na nova IEC 61641-2 em deixar claro o conceito de CMC de Potência de BT: todo conjunto em baixa tensão utilizado para a distribuição e controle de todos os tipos de cargas em aplicações industriais, comerciais e similares onde somente é permitida a operação por pessoas advertidas (BA4) e/ou qualificadas (BA5). A descrição da classificação (BA) para influências externas, relativa a utilização (B) e a competência das pessoas (A) associadas a uma instalação elétrica, pode ser encontrada na tabela 18 da norma ABNT NBR 5410 ou na tabela 12 da ABNT NBR 14039.



Figura 4.2- Evolução da normalização para CMCP de BT

4.2. FILOSOFIA CONSTRUTIVA

A ABNT NBR IEC 60439-1 define conjunto de manobra e controle de baixa tensão como sendo a “combinação de um ou mais dispositivos e equipamentos de manobra, controle, medição, sinalização, proteção, regulação etc.; em baixa tensão, completamente montados, com todas as interconexões internas elétricas e mecânicas e partes estruturais sob a responsabilidade do fabricante”. Dentro deste contexto, onde se permite a combinação de elementos de manobra com os de controle e proteção, torna-se possível compreender porque a cultura europeia, a princípio, não faz distinção entre CDC e CCM; diferentemente do que é apresentado pelo documento IEEE Std C37.20.1 e pela publicação NEMA No. ICS 18. Em resumo, pode-se afirmar que a IEC aceita a integração de unidades de distribuição de potência e de controle de motores em uma única estrutura.

A Figura 4.3 é uma representação esquemática dos principais componentes e partes de um conjunto de manobra e controle de baixa tensão.

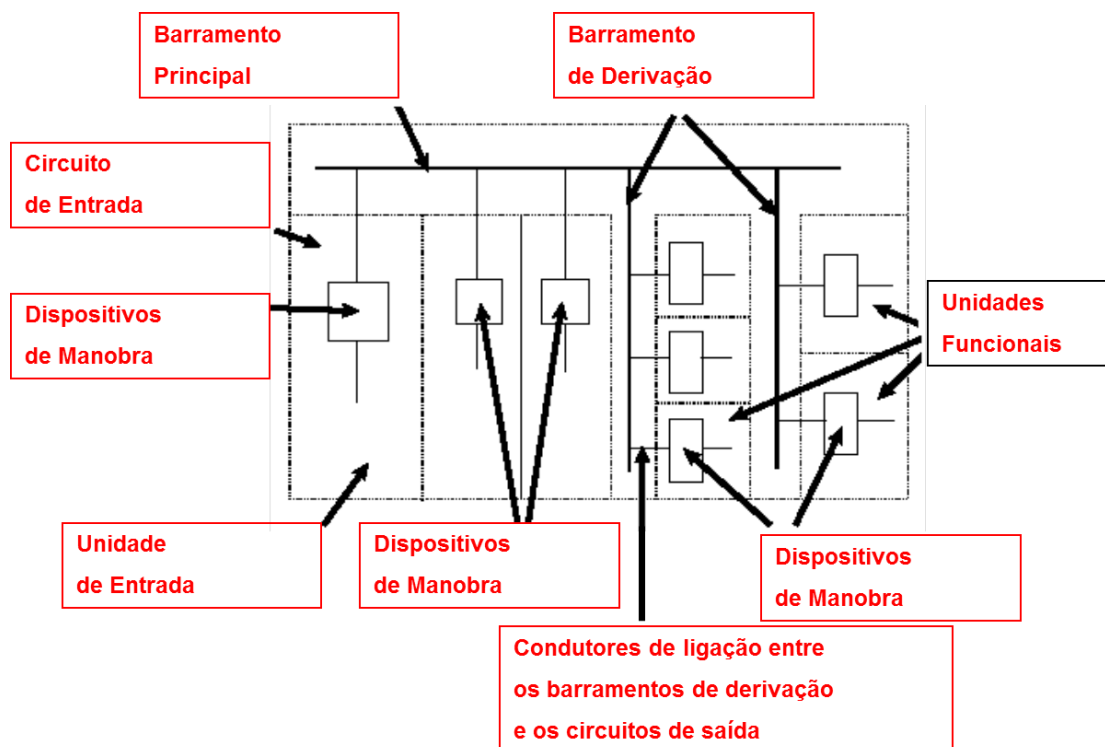


Figura 4.3- Visualização esquemática dos componentes e partes de um CMCP de BT

Os arranjos construtivos típicos aplicáveis a um conjunto de manobra e controle de baixa tensão, conforme a ABNT, são descritos na seção 2 da norma ABNT NBR IEC 60439-1, e são classificados como: aberto, aberto com proteção frontal, fechado (armário e multicolunas), mesas de comando e multimodular. Na Figura

4.4 são apresentadas ilustrações dos tipos enumerados por este documento.

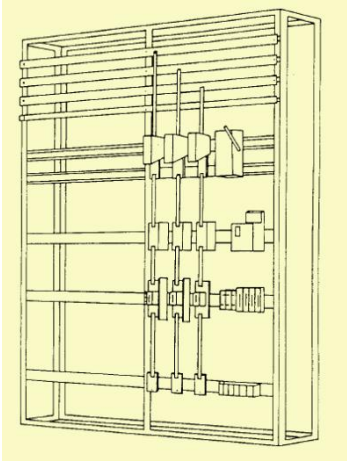
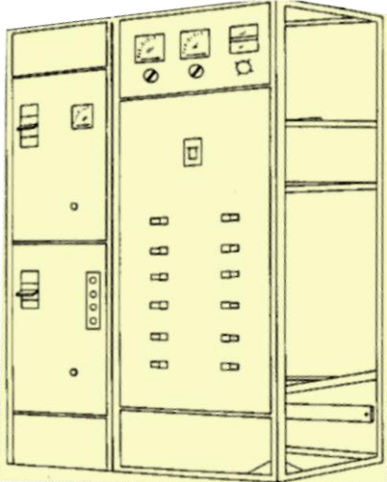
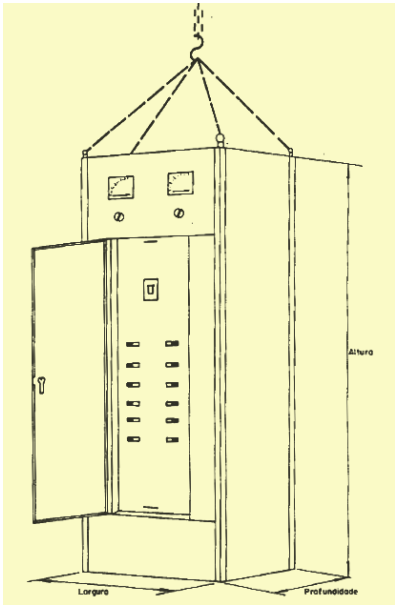
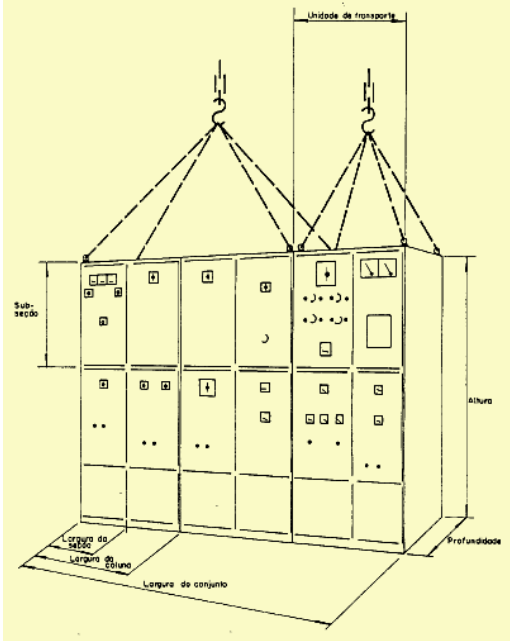
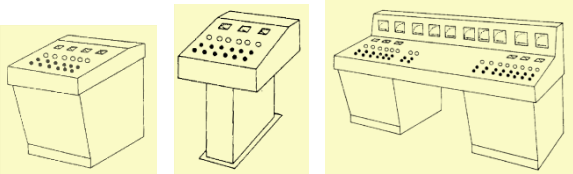
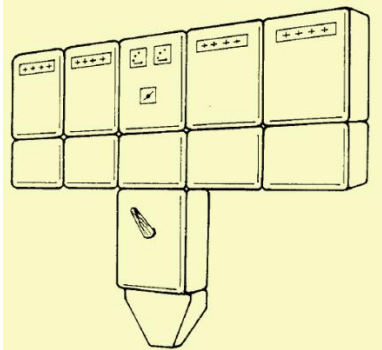
	
<p>Aberto</p>	<p>Aberto com proteção frontal</p>
	
<p>Armário</p>	<p>Multicolunas</p>
	
<p>Mesa de Comando</p>	<p>Multimodular</p>

Figura 4.4- Tipos construtivos básicos de CMCP de BT, conforme a ABNT e IEC

Porém, graças a forte influência norte-americana na cultura eletrotécnica nacional, ao longo de boa parte do século XX, principalmente nos segmentos in-

dustriais associados aos setores petroquímicos, siderúrgicos e de mineração, os conceitos associados a estruturas distintas para as funções de CDC e CCM tem prevalecido, ainda hoje, no mercado brasileiro.

Cabe, entretanto, ressaltar o fato de que certas características das normas IEC vem sendo agregadas no Brasil ao uso dos Centros de Distribuição de Cargas (CDC) e Centros de Controle de Motores (CCM), como definidos no IEEE e na NEMA. Um exemplo claro é o valor adotado para o tempo associado a corrente suportável de curta duração (I_{cw}): 1 segundo, salvo indicação em contrário, conforme o item 4.3 da norma ABNT NBR IEC 60439-1. Esta é uma condição mais rigorosa se comparado com o que é apresentado pela NEMA ICS 18, a qual fala em um tempo de 3 ciclos (que, para uma frequência de 60 Hz, corresponde a 50 ms) e a IEEE C37.20.1, que solicita um desempenho satisfatório para o valor de 0,5 s aplicado por duas vezes consecutivas, com um intervalo de 15 s entre cada aplicação.

Dentro das normas ABNT NBR IEC 60439-1 e IEC 61439-2, relativas a conjuntos de BT, se encontra, também, o conceito de unidade funcional (UF), como mostrado na Figura 4.5; similar ao apresentado no capítulo 3 desta dissertação. Este termo é definido na norma ABNT NBR IEC 60439-1 como sendo “parte de um conjunto compreendendo todos os elementos elétricos e mecânicos que contribuem para a execução de uma mesma função”. Existem, basicamente, em relação a função de conexão dos alimentadores de energia, dois tipo de unidades funcionais: de entrada, que é aquela “através da qual a energia elétrica é, normalmente, fornecida ao conjunto” (item 2.1.6 da norma), e de saída, que é a “unidade funcional através da qual a energia elétrica é normalmente fornecida para um ou mais circuitos de saída (item 2.1.7 da norma)”.

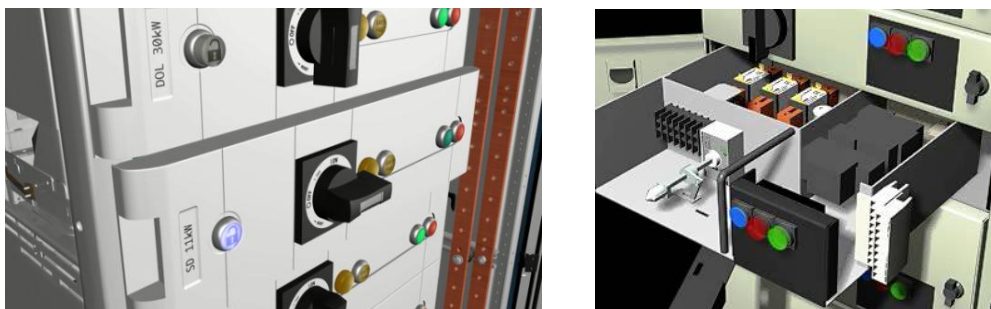


Figura 4.5- Exemplos de unidade funcional (“gaveta”) extraível para CMCP de BT

Os circuitos principais dentro de um CMCP de BT podem ser constituídos por condutores nus ou isolados, montados de forma a prevenir um curto-circuito

interno, sob condições normais de operação. Porém, eles devem ser dimensionados de forma a suportar, além da corrente nominal de regime, as possíveis correntes de curto-circuito (corrente suportável de curta-duração ou, se for aplicável, a corrente de curto-circuito limitada por um dispositivo de proteção no lado de alimentação dos barramentos).

Os barramentos dentro do CMCP de BT, normalmente, são divididos em barramento principal e barramento de derivação; exemplificados, respectivamente, na Figura 4.6 e na Figura 4.7.

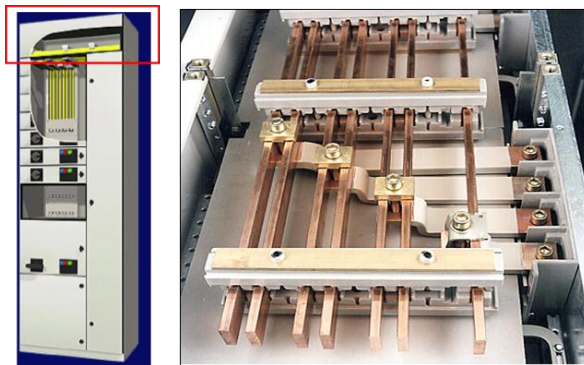


Figura 4.6- Barramento principal com montagem horizontal / superior

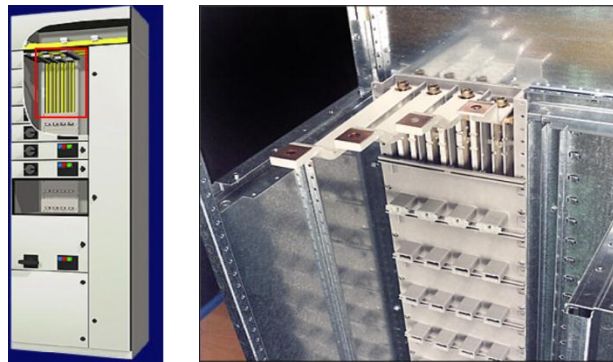


Figura 4.7- Barramento de derivação

Uma unidade funcional (UF), também conhecida, nas aplicações de baixa tensão, como “gaveta”, pode ser, também, classificada como fixa, removível ou extraível, como ilustrado na Figura 4.8. A definição básica de cada tipo é mostrada a seguir, junto com a referência do item original da norma ABNT NBR IEC 60439-1:

- Fixa (1ª imagem da Figura 4.8): UF montada sobre um suporte comum e que é instalada de forma fixa (item 2.2.5 da norma);
- Removível (2ª imagem da Figura 4.8): UF que pode ser totalmente removida do CMCP e ser substituída, mesmo com o circuito principal energizado (item 2.2.6 da norma);

- Extraível (3ª imagem da Figura 4.8): UF removível capaz de estabelecer uma distância de isolamento quando na posição desconectada e/ou de ensaio, caso a tenha, enquanto ainda permanece, mecanicamente, fixada ao CMCP (item 2.2.7 da norma).



Figura 4.8- Exemplos de unidades funcionais fixa, removível (“plug-in”) e extraível

Em termos de custos, a versão extraível é mais cara do que a removível e, esta, mais do que a fixa. Porém, indiscutivelmente, existem ganhos em segurança, nos requisitos de manutenção e quanto ao nível de qualificação de pessoal, conforme ilustrado na Figura 4.9.

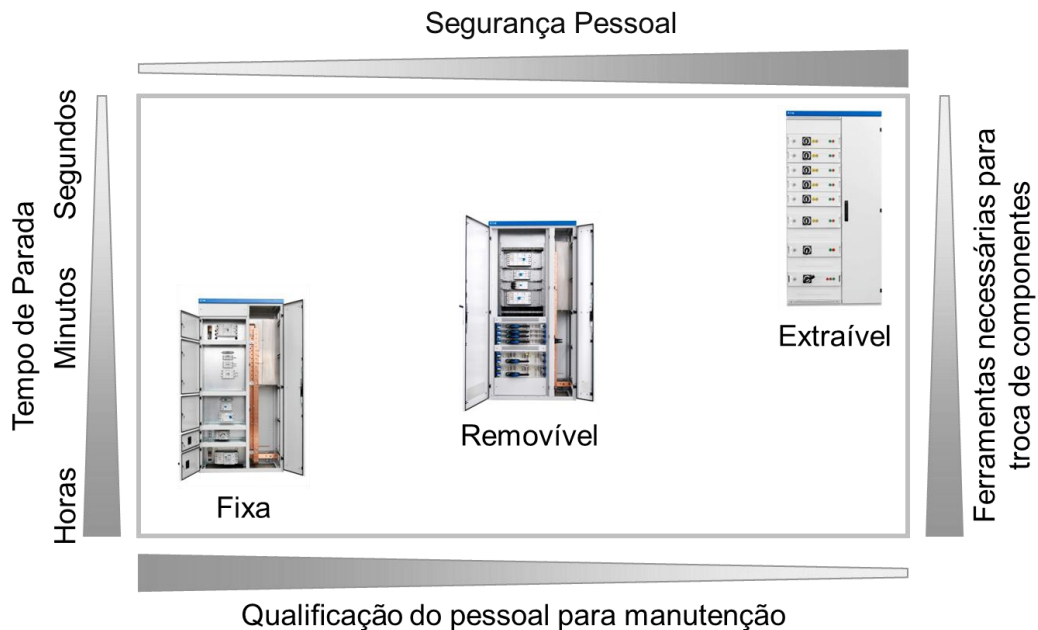


Figura 4.9- Comparativo dos requisitos e características de operação e manutenção entre unidades funcionais fixas, removíveis e extraíveis para CMCP de BT

Com relação às posições que uma unidade funcional removível ou extraível pode assumir em relação ao seu acoplamento ao CMCP, a norma ABNT NBR IEC 60439-1 apresenta quatro possibilidades, conforme listadas a seguir. Na Figura 4.10 se vê uma UF extraível nas três primeiras posições.

- Conectada ou Inserida (1ª imagem da Figura 4.10): posição de uma parte removível ou extraível quando está completamente conectada (item 2.2.8 da norma);
- De Ensaio, ou Teste (2ª imagem da Figura 4.10): posição de uma parte extraível na qual os circuitos principais estão desligados da entrada, mas não obrigatoriamente isolados, e os circuitos auxiliares estão ainda conectados (item 2.2.9 da norma);
- Extraída (3ª imagem da Figura 4.10): posição de uma parte extraível onde existe uma distância de isolamento nos circuitos principais e auxiliares, mas permanecendo, mecanicamente fixada ao CMCP (item 2.2.10 da norma);
- Removida: posição de uma parte removível ou extraível, na qual a unidade está fora do CMCP, separada mecânica e eletricamente (item 2.2.11 da norma).

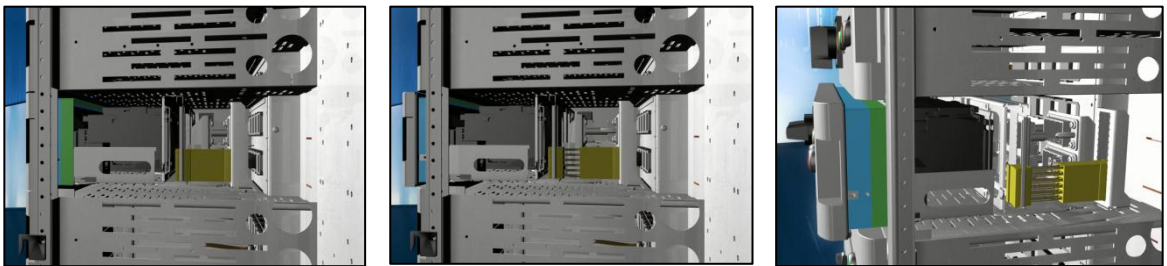


Figura 4.10- Posições de uma UF extraível: inserida, de ensaio e extraída

A Figura 4.11 apresenta, de forma esquemática, uma unidade funcional (UF) extraível na posição “conectada”. Nesta imagem se pode observar as conexões elétricas do circuito de entrada principal, circuito de saída principal e do circuito de controle (circuitos auxiliares).

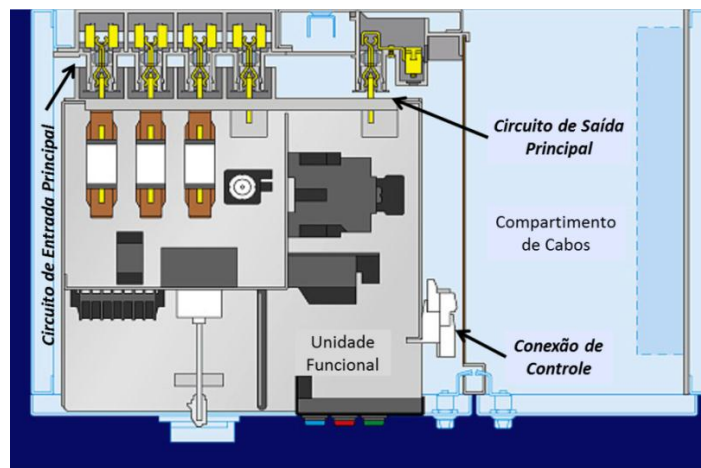


Figura 4.11- Vista esquemática de uma unidade funcional extraível

As conexões elétricas das unidades funcionais de um CMCP de BT, conforme o item 2.2.12 da norma ABNT NBR IEC 60439-1 e o item 3.101.2 da IEC 61439-2, são classificadas como:

- Fixa: aquela que é conectada ou desconectada por meio de ferramenta;
- Desconectável: aquela que é conectada ou desconectada por manobra manual do meio de conexão, sem usar ferramenta;
- Extraível: aquela que fica conectada ou desconectada quando a UF é levada para a posição conectada ou isolada.

O modo como são feitas as conexões elétricas de uma unidade funcional é descrito no item 7.11 da norma. Os tipos de conexões são identificadas por um código de três letras:

- A 1ª letra identifica o tipo de conexão elétrica do circuito de entrada principal (“força”);
- A 2ª letra identifica o tipo de conexão elétrica do circuito de saída principal (“força”);
- A 3ª letra identifica o tipo de conexão elétrica dos circuitos auxiliares (“controle”).

Neste sistema de identificação, são utilizadas as seguinte letras:

- F: conexões fixas;
- D: conexões desconectáveis;
- W: conexões extraíveis.

Na Figura 4.12 pode-se ver, na parte traseira de uma UF extraível, seguindo da esquerda para a direita, as conexões de controle (circuitos auxiliares), saída de potência (circuito principal) e entrada de potência (circuito principal). Como todas elas são extraíveis, a classificação, neste caso, seria: “W-W-W”.

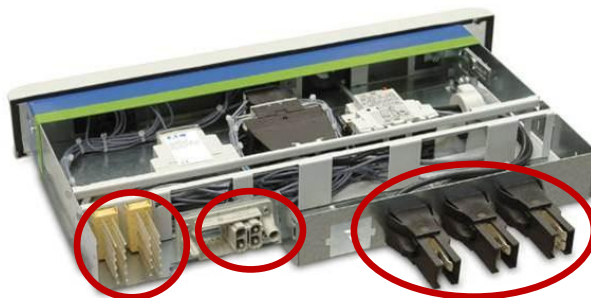


Figura 4.12- Vista de unidade funcional extraível, mostrando as suas conexões

É importante atentar para o fato de que, no universo dos equipamentos de BT, diferente da média tensão, o contexto das solicitações dielétricas, apesar de toda a sua relevância, não é fator determinante. Por outro lado, os problemas surgidos com altas correntes nominais de regime e os níveis altos de curto-circuito em espaços físicos muito menores do que aqueles encontrados na MT levam a preocupações quanto à solução de arranjos de barramentos, de equipamentos de manobras, transformadores de instrumentos e elementos de proteção contra sobrecorrentes.

A fim de se padronizar a relação entre o valor de pico da maior alternância do primeiro semiciclo e o valor eficaz da corrente de curto-circuito presumida, denominado de fator “n”, a IEC estabeleceu valores (ver Tabela 4.1) baseados nos fatores de potência de curto-circuito observados nos tipos mais comuns de sistemas de BT, exemplificados nas vistas parciais dos diagramas unifilares da Figura 4.13 e da Figura 4.14.

Tabela 4.1: Valores do fator de potência, relação X/R associada e do fator “n” para as faixas de correntes de curto-circuito em BT, segundo a IEC.

Valor eficaz da corrente de curto-circuito kA (valor eficaz)	cos φ p.u.	X/R	n p.u.
$I \leq 5$	0,7	1,02	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,73	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	3,18	2,0
$20 < I \leq 50$	0,25	3,87	2,1
$50 < I$	0,2	4,90	2,2

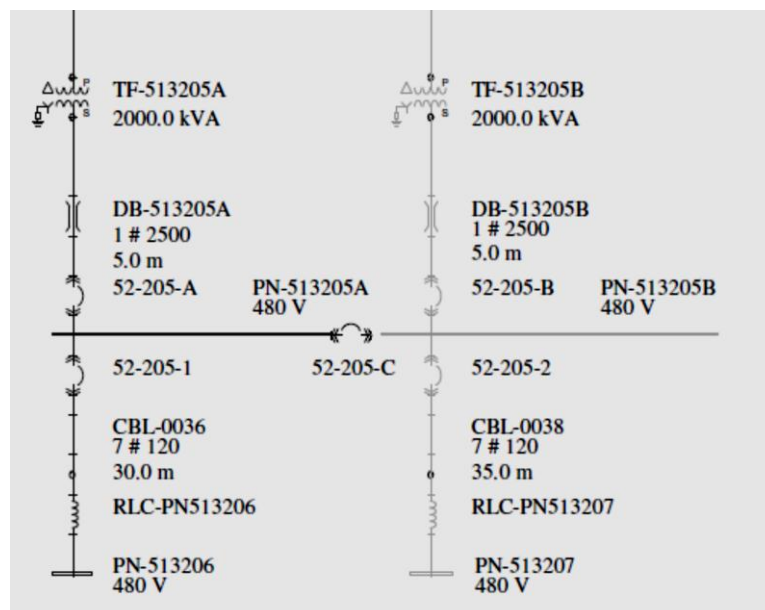


Figura 4.13- Parte de um DU com a possibilidade de paralelismo de transformadores

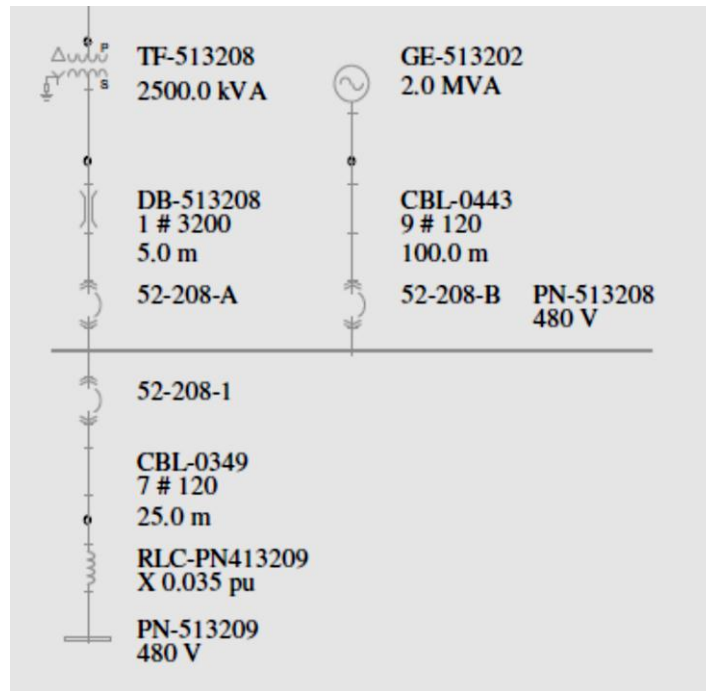


Figura 4.14- Parte de DU com a possibilidade de paralelismo com geração própria

Na Tabela 4.2 e na Figura 4.15 são apresentados os requisitos e representações gráficas para as formas de separação previstas pela IEC para CMCP de BT.

Tabela 4.2: Formas de Separação para CMCP de BT, conforme a IEC.

Critério Principal	Critério Secundário	Forma
Sem separação interna.		Forma 1
Separação entre os barramentos e as unidades funcionais (UFs).	Terminais para os condutores externos não separados dos barramentos.	Forma 2a
	Terminais para os condutores externos separados dos barramentos.	Forma 2b
Separação entre os barramentos e as UFs e separação entre todas as UFs. Separação entre os terminais para condutores externos e as UFs, mas não entre os terminais das diferentes UFs.	Terminais para os condutores externos não separados dos barramentos.	Forma 3a
	Terminais para os condutores externos separados dos barramentos.	Forma 3b
Separação entre os barramentos e todas as unidades funcionais, além de separação entre todas as UFs. Separação entre os terminais para condutores externos das diferentes unidades funcionais e entre os terminais das unidades funcionais e os barramentos.	Terminais dos condutores externos no mesmo compartimento da UF associada.	Forma 4a
	Terminais para os condutores externos não se encontram no mesmo compartimento da respectiva unidade funcional, mas em um compartimento ou espaço individual, separado, fechado e protegido.	Forma 4b

Deve-se lembrar, também, que o uso de TCs e relés secundários em vez de disjuntores incorporados aos disjuntores de potência podem dificultar o atendimento ao tipo de forma de separação interna requerida para o conjunto. Os tipos de forma de separação permitem que o usuário escolha o arranjo que melhor aten-

de os seus requisitos de segurança e continuidade de serviço, conforme a instalação existente.

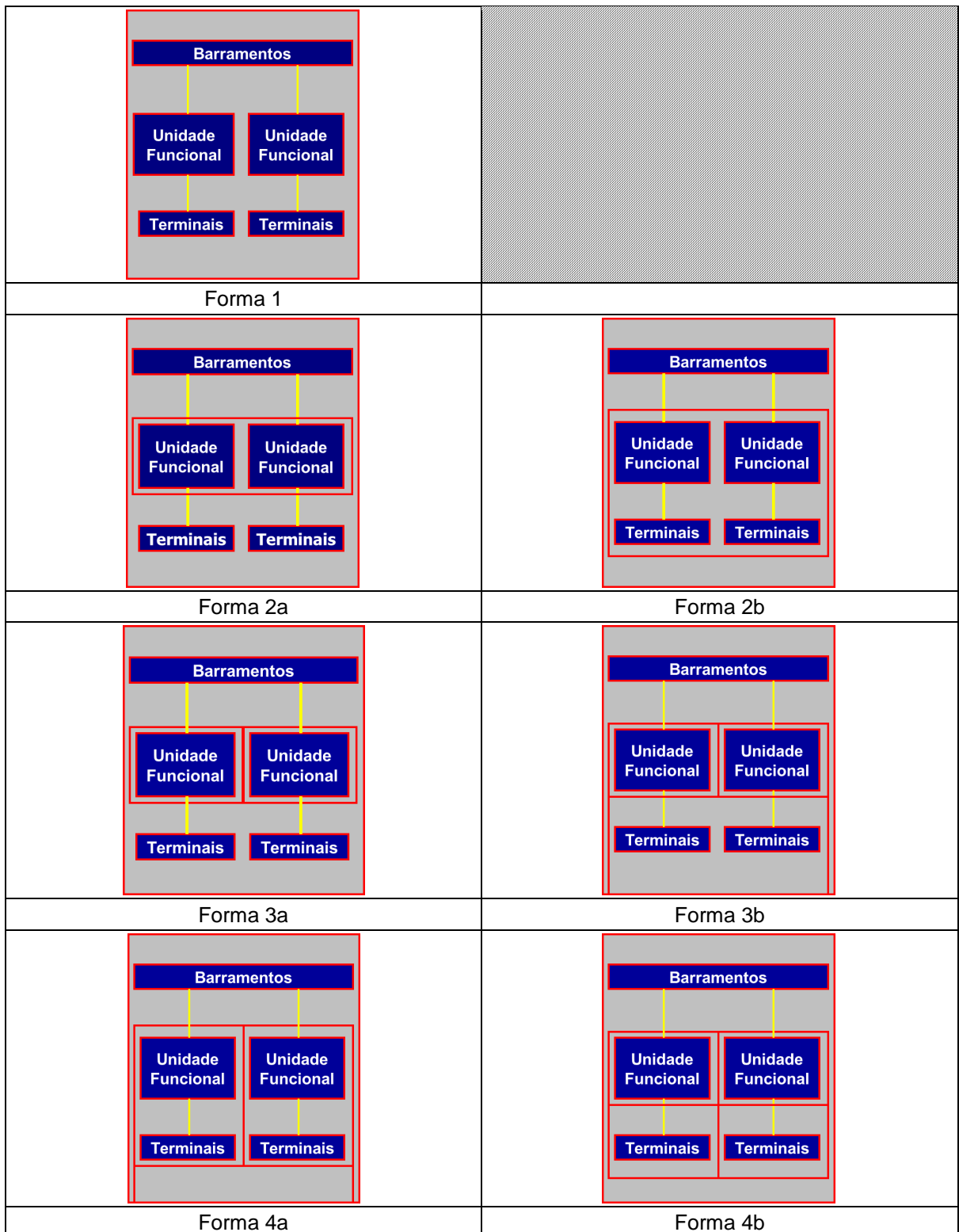


Figura 4.15- Representação esquemáticas das Formas de Separação definidas pela ABNT e IEC

A Figura 4.16 mostra um exemplo de um CMCP de BT com Forma de Separação 2a (vista posterior, mostrando barramentos principal e de derivações, além dos terminais de saída das unidades funcionais. A Figura 4.17 apresenta uma vista

posterior de um CMCP de BT com forma 3b nas duas colunas da direita e forma 4b nas 3 colunas da esquerda.

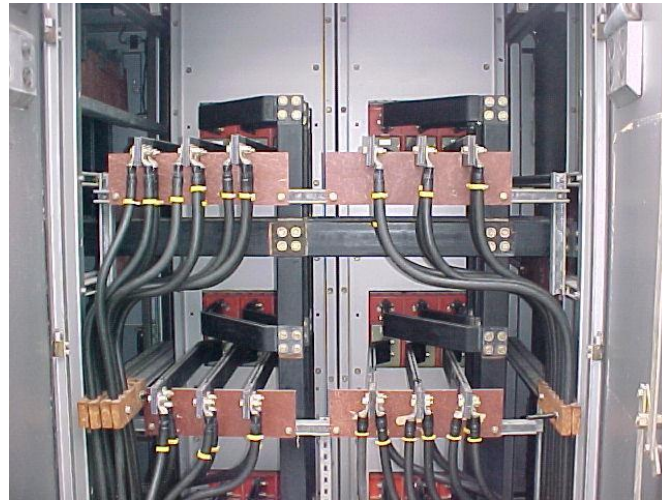


Figura 4.16- Exemplo da forma "2a"

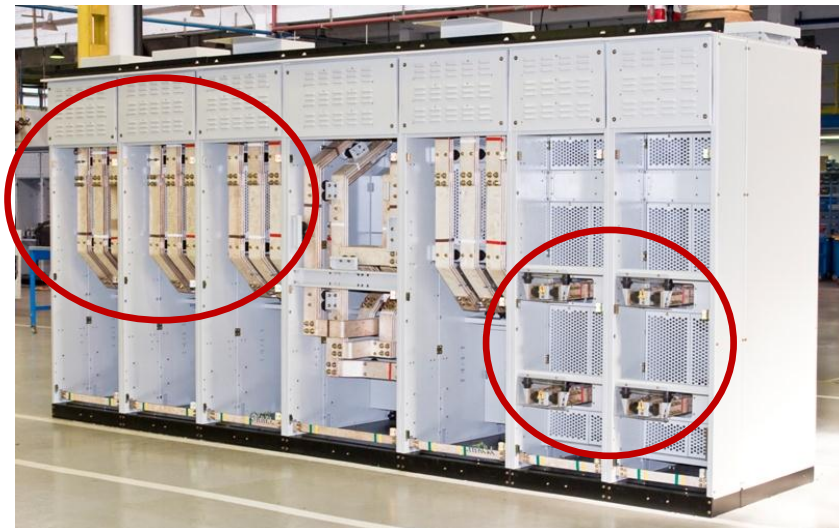


Figura 4.17- Exemplo das formas "4b" e "3b"

Um ponto relevante na definição de um CMCP de BT é a máxima corrente que circula no barramento principal e nos barramentos de derivação. Esta informação, junto com a quantidade e tipo de cargas (UFs) associadas, é fundamental para garantir um desempenho térmico adequado na condição de máximo regime de corrente circulante no equipamento. Na falta de maiores informações do usuário e, até mesmo, do fabricante do conjunto, a solução recomendada pela norma ABNT NBR IEC 60439-1 é usar os fatores típicos de diversidade apresentados na Tabela 4.3. O fator nominal de diversidade de um conjunto ou de parte do mesmo representa a relação entre a máxima soma das correntes de operação dos circuitos principais, em qualquer instante do período de operação do conjunto, e a soma de todas as correntes nominais dos circuitos principais envolvidos, seja no CMC ou na

parte selecionada do conjunto.

Tabela 4.3: Fator nominal de diversidade, segundo a ABNT NBR IEC 60439-1.

Número de circuitos principais	Fator nominal de diversidade
2 e 3	0,9
4 e 5	0,8
6 a 9 inclusive	0,7
10 (e acima)	0,6

4.3. ALGUNS DESAFIOS NA APLICAÇÃO DE CMCP EM BT

É preciso atentar para as situações que apresentem desvios dos valores considerados como padrões nas normas para aplicação dos equipamentos, tais como: temperatura ambiente, condições atmosféricas (abrigado ou ao tempo), grau de poluição, altitude ou condições especiais de serviço.

No caso de aplicação dos disjuntores de potência de BT, é interessante salientar que os sistemas de proteção, quando incorporados aos mesmos, têm evoluído muito ao longo dos anos. Nos últimos anos, todos os grandes fabricantes (ABB, Eaton, GE, Schneider e Siemens) deste tipo de equipamento têm incorporado aos seus produtos o uso de bobinas de “Rogowski” em substituição aos já tradicionais e consagrados sensores de corrente (transformadores de corrente com valores secundários na ordem de miliamperes). Isto permitiu uma melhoria do desempenho das unidades microprocessadas utilizadas como elementos de proteção de sobre-corrente. A antiga solução já tinha demonstrado alta confiabilidade com o casamento entre os sensores de corrente e as unidades de disparos, graças ao correto encaminhamento dos cabos entre sensor e disparador, e o casamento da carga à capacidade dos sensores (TCs) utilizados. Mas a indústria buscava um novo patamar, onde um único sensor pudesse cobrir, com confiabilidade, uma faixa maior de atuação, permitindo que um único dispositivo atendesse, sem saturação, as necessidades de unidades microprocessadas para disjuntores de 630 a 6300 A.

As bobinas de “Rogowski”, exemplificada na Figura 4.18, para uso em conjunto com disparadores microprocessados já são uma realidade nos disjuntores de BT. Associadas a elas, existe também a adição de novas características aos disparadores microprocessados. Além das já clássicas funções de medição de grandezas elétricas (corrente, demanda, energias ativas e reativas, fator de potência, etc.)

e de informações de qualidade de energia (quantificação das harmônicas, níveis de distorção, etc.), têm sido acrescentadas funções que permitem a redução de níveis de energia incidente no ponto de instalação do disjuntor graças à possibilidade de alteração temporária dos ajustes das proteções. Esta nova abordagem é baseada no uso de grupos de ajustes memorizados na unidade microprocessada, conforme mostrado na Figura 4.19; na qual se pode ver, além do frontal da unidade de disparo com o seletor de ajustes preestabelecidos, um comparativo de resposta (níveis de energia incidente) do sistema de proteção em relação aos níveis das correntes de curto-circuito.

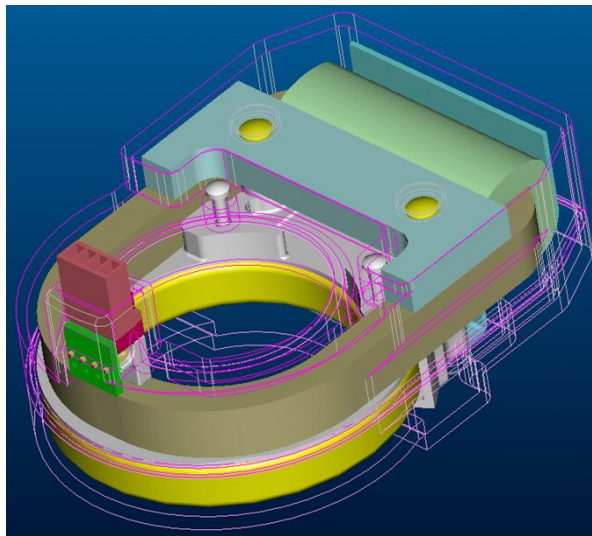


Figura 4.18- Exemplo de bobina de Rogowski

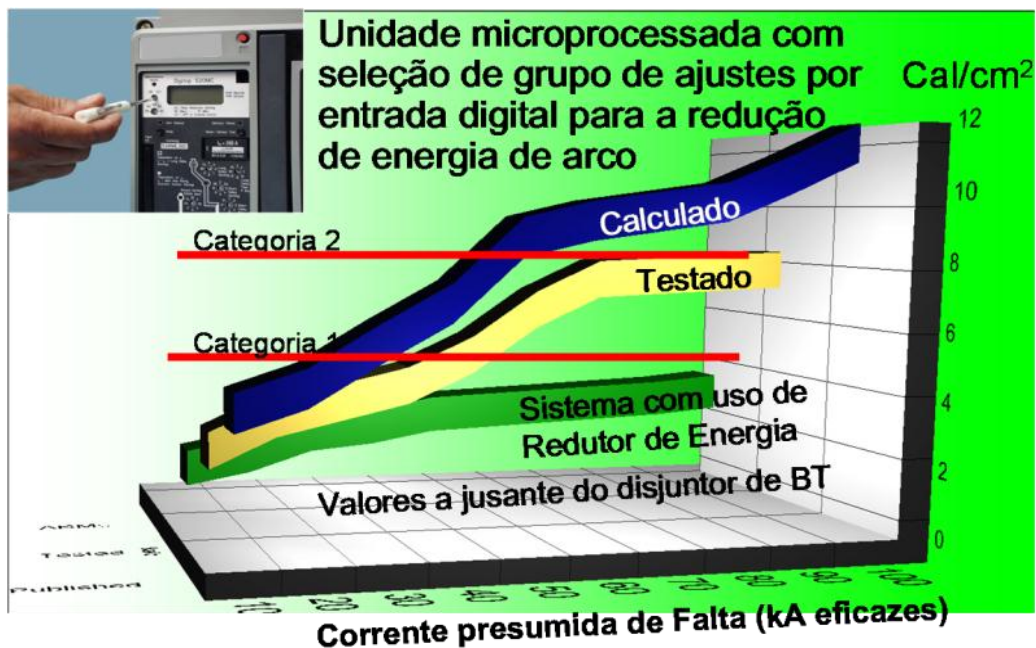


Figura 4.19- Redução da energia incidente pela alteração dos ajustes da proteção

Apesar destas abordagens inovadoras, tem sido observada, em alguns casos, a solicitação de clientes finais de se utilizar para disjuntores de potência de BT

a proteção secundária, ou seja: TCs externos associados a um relé de proteção. Este arranjo tem sido adotado para uso em CDC (Centro de Distribuição de Cargas) de BT com base em duas premissas:

- Em caso de necessidade de troca de um disjuntor, não existe a obrigatoriedade de se verificar a adequação dos ajustes da unidade de disparo ou, caso seja preciso, reprogramá-la.
- Os relés secundários de corrente, diferentes das unidades de disparos incorporados (as quais trabalham com protocolos do tipo proprietário ou outros disseminados mundialmente, como o Modbus ou o Profibus), permitem a adoção de sistemas de comunicação baseados na norma IEC 61850. E este tem sido a nova referência para os sistemas supervisórios e de controle dos sistemas de potência.

Este tipo de enfoque, exemplificado na Figura 4.20, mesmo que tenha os seus méritos, implica em outros pontos que podem se tornar críticos. A necessidade de adequar os TCs a níveis de corrente nominal e de curto-circuito pode levar ao uso de transformadores com maior relação ou exatidão (capacidade de lidar com maior carga secundária – maior “Burden”). Isto é similar ao que já foi descrito para os CMCP de MT, porém neste caso o problema não é relativo aos riscos de alteração no arranjo espacial dos campos elétricos e o surgimento de novos gradientes. Aqui muitas vezes se encontra problemas puramente de espaço físico disponível, quando não ocorrem implicações piores como a limitação de troca de calor para dissipação térmica da parte interna do CMC de BT devido a dificuldades de circulação de ar (convecção) ou da radiação de pontos de partes condutoras.



Figura 4.20- CMCP-BT com forma de separação “4b” e proteção secundária

Além dos pontos mencionados nos parágrafos anteriores, existem três outros fatores importantes dentro do contexto dos desafios encontrados na aplicação de CMCP de BT.

Os dois primeiros estão relacionados diretamente ao uso de disjuntores, conforme descrito na norma IEC 60947-2. Um se refere a capacidade de suportar um valor de corrente de curta-duração (I_{cw}) por um tempo definido; fato este que está, diretamente, associado à forma como o equipamento se comporta num esquema seletivo de proteção. E, o outro, estabelece os níveis de capacidade de interrupção, tanto em serviço quanto máximo, para o disjuntor. Esta última relação é associada à primeira pela tabela de escolha da capacidade de serviço em relação ao percentual da capacidade máxima segundo o tipo de seletividade, conforme mostrado na Tabela 4.4.

Os disjuntores podem ser classificados em duas categorias de seletividade:

- A: são os disjuntores para os quais não se prevê seletividade, em condições de curto-circuito, com os dispositivos (SCPD) a jusante. Eles não possuem valores para ajustes de curto-retardamento e nem a capacidade de corrente suportável de curta-duração (I_{cw});
- B: são os disjuntores que conseguem ter seletividade, em condições de curto-circuito, com os dispositivos (SCPD) a jusante. Eles possuem ajustes para o curto-retardamento e, também, a capacidade de corrente suportável de curta-duração (I_{cw}).

E, além disso, os disjuntores apresentam duas capacidades de interrupção:

- I_{cs} : Capacidade de Interrupção de Serviço. Corresponde ao valor da corrente de curto-circuito, expresso em % do valor de I_{cu} , que um disjuntor pode interromper na sua tensão nominal de operação; sendo que, após este evento, o mesmo ainda deve poder conduzir a sua corrente nominal de regime;
- I_{cu} : Capacidade de Interrupção Máxima. Corresponde ao valor eficaz da corrente de curto-circuito que um disjuntor pode interromper na sua tensão nominal de operação; sendo que, após este evento, o mesmo não precisa ser capaz de conduzir a sua corrente nominal de regime.

Apesar da condição de um disjuntor apresentar o valor de I_{cs} igual ao de I_{cu}

representar uma situação ótima, ela não é obrigatória e pode, dependendo da aplicação e do sistema em questão, até ser uma solução mais onerosa: o projeto do dispositivo precisaria ser “sobredimensionado”.

Tabela 4.4: Valores da relação entre Ics e Icu.

Categoria de Seletividade: A % de Icu	Categoria de Seletividade: B % de Icu
25	- -
50	50
75	75
100	100

O terceiro ponto está relacionado com uso de partidas com contadores do tipo eletromecânico, conforme a norma IEC 60947-4-1. Uma “partida (combinação de todos os dispositivos e conexões necessárias para manobrar um motor, com proteção contra sobrecargas inclusa) protegida (partida que possui um dispositivo de proteção contra curto-circuito – SCPD)” pode apresentar dois tipos de coordenação entre os seus elementos:

- Tipo 1: a partida, sob condições de curto-circuito, não deve causar perigo às pessoas ou instalações e pode, após a interrupção da falta, não estar apta para serviços futuros sem reparos ou substituição de peças.
- Tipo 2: a partida, sob condições de curto-circuito, não deve causar perigo às pessoas ou instalações e tem que, após a interrupção da falta, estar apta para serviços futuros. É aceitável o risco de soldagem dos contatos principais do contator (neste caso, o fabricante deve informar os procedimentos adequados de manutenção).

Estes tipos de coordenação estão associados a categoria de uso AC-3 (manobra de motores de indução com rotor em curto-circuito, conforme a Tabela 1 da norma IEC 60947-4-1) para os contadores (e, respectivamente, para as partidas).

É óbvio que uma partida protegida com coordenação tipo 2 permite uma maior continuidade de serviço e um nível menor de manutenção, especialmente, quando associada ao uso de disjuntores como SCPD, em vez de fusíveis (o disparo por curto-circuito não obriga a troca dos elementos fusíveis). Porém, dependendo do projeto dos componentes e as suas capacidades de suportabilidade térmica

e dinâmica, poder haver a necessidade de aumento do tamanho (estrutura) dos mesmos, do volume ocupado pela UF ou o incremento nos custos da solução.

4.4. VERIFICAÇÕES DE DESEMPENHO DE CMCP EM BT

A lista de ensaios de tipo requeridos pela “NBR IEC 60439-1” é:

1. Verificação dos limites de elevação de temperatura;
2. Verificação das propriedades dielétricas;
3. Verificação da corrente suportável de curto-circuito;
4. Verificação da eficácia do circuito de proteção;
5. Verificação das distâncias de escoamento e isolamento;
6. Verificação do funcionamento mecânico;
7. Verificação do grau de proteção.

A lista de ensaios de rotina é:

1. Inspeção do Conjunto de Manobra e Controle, incluindo a inspeção da instalação elétrica e, se necessário, ensaio de funcionamento elétrico;
2. Ensaio dielétrico;
3. Verificação das medidas de proteção e da continuidade elétrica do circuito de proteção.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas as principais características e desafios relativos ao uso dos Conjuntos de Manobra e Controle de Potência em Baixa Tensão, descrevendo-se as suas principais filosofias construtivas e os seus requisitos. Na sequência, foram descritos alguns dos desafios encontrados na aplicação e uso destes equipamentos. No fechamento deste capítulo, foram listados os ensaios de tipo e de rotina associados a um CMCP de BT.

5. A SEGURANÇA HUMANA E A ENERGIA INCIDENTE DEVIDA A UM ARCO ELÉTRICO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A utilização de conjuntos de manobra e controle de potência para a distribuição e controle da energia elétrica implica em riscos associados à ocorrência de arcos elétricos. Desta forma, se impõem medidas que venham a maximizar a segurança, tanto humana quanto patrimonial.

Não existem dúvidas quanto a importância da tradicional abordagem de segurança contra choques elétricos, mas existe, também, a necessidade da identificação e da prevenção dos riscos associados às descargas de energia provenientes da ocorrência de arcos elétricos. Por conta disso, vem aumentando os esforços em se quantificar os níveis de energia incidente e de se estabelecer programas de segurança que incluam, entre outras coisas, o uso de etiquetas informativas dos valores presentes da energia incidente e do EPI requerido para os trabalhos de intervenção.

Este capítulo se propõe a mostrar a importância de se identificar e quantificar os níveis reais de energia incidente.

5.2. CENÁRIO ATUAL

Os procedimentos, métodos e abordagens disponíveis atualmente para prevenção e mitigação dos riscos e efeitos associados aos níveis de energia incidentes devidos a ocorrência de arcos elétricos em conjuntos de manobra e controle, tais como CCM e CDC, tanto de BT quanto de MT, são baseados, principalmente, em estudos e trabalhos desenvolvidos por grupos e associações norte-americanas, como a NFPA e o IEEE.

A própria definição de Risco dos Perigos de Descarga por Arco Elétrico apresentada pela NFPA (“National Fire Protection Association” – associação responsável pelas normas de regulamentação em segurança de construções, instalações elétricas e prevenção de incêndios nos Estados Unidos da América) indica que esta é “uma condição perigosa associada à liberação de energia causada por um arco elétrico”. Assim, toda a abordagem desenvolvida pelos documentos NFPA

70E e IEEE Std 1584 se foca no conceito de energia e no cálculo de quantificação de sua parte térmica; ou seja: a análise se concentra no calor que está associado à energia liberada quando de um evento de arco elétrico.

Dentro deste contexto, a maior preocupação está focada na queimadura que uma pessoa possa sofrer. Isto se deve, basicamente, a dois motivos:

- Áreas cobertas por roupas, as quais são muito maiores que as descobertas no corpo de um trabalhador, podem ser mais afetadas do que aquelas que estão com a pele exposta, devido à ignição de tecidos que não são adequados ao uso;
- As queimaduras mais severas registradas têm sido provocadas pela ignição das roupas, e não pela exposição direta ao arco elétrico ou às chamas.

O acima exposto é reforçado pela exigência de não haver ignição dos indicadores de avaliação dos efeitos térmicos de gases liberados por um CMCP no caso da ocorrência de um arco interno, tanto no anexo “A” (“Internal fault – Method for testing the metal-enclosed switchgear and controlgear under conditions of arcing due to an internal fault”) das normas IEC 62271-200 e ABNT NBR IEC 62271-200, quanto no relatório técnico IEC/TR 61641.

A Energia Incidente num ponto é definida como sendo “a quantidade de energia imposta em uma superfície, a certa distância da fonte, gerada durante a ocorrência de um arco elétrico”. As unidades comumente utilizadas para se medir a energia incidente são:

- Calorias por centímetro quadrado (cal/cm^2), que é mais comum na literatura técnica disponível neste assunto;
- Joules por centímetro quadrado (J/cm^2).

Assim, seguindo-se esta abordagem, os estudos atuais visam, primeiramente, determinar o nível de energia térmica, em cal/cm^2 , com base na corrente de um possível arco, e, então, informar qual o nível de risco que existe para os profissionais expostos durante as atividades e os serviços associados.

Seguindo este enfoque, se nota que o guia IEEE Std 1584, usado para a realização dos cálculos dos riscos associados à energia incidente, com a determinação do nível da mesma e a distância limite de proteção associada, está, realmente, centrado em torno da determinação da corrente de arco. Este guia fornece méto-

dos que se aplicam a sistemas trifásicos com valor eficaz da tensão de linha entre 208 V e 15 kV, em 50 e 60 Hz, corrente de curto-circuito entre 0,7 kA e 106 kA e para espaçamentos entre condutores na faixa de 13 mm a 152 mm.

O documento IEEE Std 1584 inicia o processo com a determinação da corrente de arco. Este valor de corrente é associado, então, ao tempo de operação dos dispositivos de proteção do circuito.

A fórmula básica para o cálculo da corrente de arco pode ser reescrita conforme a equação (5.1).

$$\log(I_a) = k + a \log(I_{bf}) + bV + cG + dV \log(I_{bf}) + eG \log(I_{bf}) \quad (5.1)$$

Tabela 5.1: Relação dos fatores usados no cálculo da fórmula de determinação da corrente de arco, conforme a norma IEEE STD 1584.

Tensão do Sistema	Configuração	k	a	b	c	d	e
Menor que 1000 V	Aberta	-0,153	0,662	0,0966	0,000526	0,5588	-0,00304
	Em caixa	-0,097	0,662	0,0966	0,000526	0,5588	-0,00304
Igual ou maior que 1000 V	“Não aplicável”	0,00402	0,983	0	0	0	0

Sendo que, para as aplicações em sistemas com tensão operacional inferior a 1000 V, este guia informa que se deve avaliar, também, a condição de uma falha com 85% do valor calculado para a corrente de arco (“I_a”), de modo a permitir a determinação do tempo de resposta da proteção e, desta forma, permitir a respectiva avaliação nesta condição.

Para definição da energia incidente e de uma distância segura de trabalho, as fórmulas propostas pelo guia do “IEEE” estão representadas pelas equações (5.2) a (5.6).

$$I_a = 10^{\log(I_a)} \quad (5.2)$$

$$\log(E_n) = k_1 + k_2 + 1,081 \log(I_a) + 0,0011G \quad (5.3)$$

$$E_n = 10^{\log(E_n)} \quad (5.4)$$

$$E = 4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (5.5)$$

$$D_B = \left[4,184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\left(\frac{1}{x}\right)} \quad (5.6)$$

Onde:

- log: logaritmo na base 10;
- I_a : valor eficaz da corrente do arco elétrico, kA;
- I_{bf} : valor eficaz da componente simétrica subtransitória da corrente do curto-circuito trifásico sólido, kA (numa abordagem conservativa);
- E_n : valor normalizado em tempo e distância para a energia incidente, J/cm²;
- k_1 : constante igual a “-0,792” para configurações abertas (sem invólucro) e igual a “-0,555” para configurações em caixa (enclausurado em invólucro);
- k_2 : constante igual a “0” para sistemas não aterrados (isolados) ou aterrados por resistência de alto valor ôhmico e igual a “-0,113” para sistemas aterrados;
- G: afastamento entre condutores, em mm (ver Tabela 5.2);
- x: fator de expoente para distância (ver Tabela 5.2);
- E: energia incidente, em J/cm²;
- t: tempo do arco elétrico, em s;
- C_f : constante de cálculo. Este fator é igual a “1,0” para sistemas com tensão de linha (fase – fase) acima de 1 kV;
- D_B : distância entre um trabalhador e um possível ponto de arco elétrico, em mm.

Tabela 5.2: Fatores de cálculo de (5.5) e (5.6), segundo a tabela “4” (“Factors for Equipment and Voltage Class”) da norma IEEE STD 1584.

Tensão do Sistema (kV)	Tipo de Equipamento	Afastamento típico entre condutores (mm)	Fator do expoente “x”
0,208 – 1	Espaço aberto	10-40	2,000
	Conjunto de manobra	32	1,473
	CCM e Quadro	25	1,641
	Cabos	13	2,000
> 1 – 5	Espaço aberto	102	2,000
	Conjunto de manobra	13 – 102	0,973
	Cabos	13	2,000
> 5 – 15	Espaço aberto	13 – 153	2,000
	Conjunto de manobra	153	0,973
	Cabos	13	2,000

5.3. RISCO DE EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO

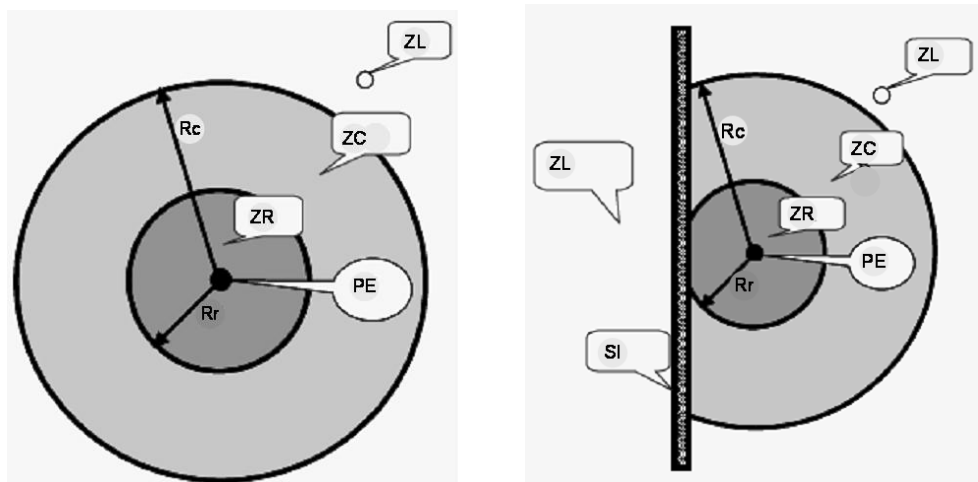
Uma questão básica, associada a este assunto, é quando um trabalhador pode vir a ficar exposto aos riscos de um arco elétrico. Na verdade, é qualquer oportunidade em se esteja trabalhando em um equipamento energizado ou próximo ao mesmo. Alguns exemplos seriam:

- Medições de Qualidade de Energia;
- Leituras de Inspeção Termográfica;
- Operação e manutenção local;
- Inserção e extração de elementos removíveis e extraíveis;
- Pesquisa das causas de defeitos e falhas.

Assim sendo, toda vez que for definido a necessidade de um trabalhador atuar dentro de uma zona que está sujeita aos efeitos de uma descarga elétrica, é necessária a Análise de Riscos de Arco Elétrico.

A partir dos valores estimados com base na atividade a ser exercida (pelo uso de tabelas, como as fornecidas pela NFPA 70E ou obtidos através de cálculos, conforme o documento IEEE Std 1584), são definidas as categorias de riscos conforme faixas de valores dos níveis de energia incidente. Assim, seguindo-se uma diretriz de se prevenir ou limitar os ferimentos (queimaduras tratáveis – restritas às de 2º grau) ao ser humano, são definidas as vestimentas, os EPIs e os EPCs apropriados, além das práticas e distâncias seguras de trabalho para o local em que a atividade será exercida.

Apesar de tanto a norma regulamentadora NR-10, conforme mostrado na Figura 5.1, quanto a NFPA 70E, mostrado na Figura 5.2, estabelecerem distâncias mínimas para evitar a eletrocussão (choque elétrico) provocada por um arco estabelecido no ar em condições de perturbação deste dielétrico; elas não englobam, obrigatoriamente, as distâncias seguras contra os efeitos resultantes da energia de um arco elétrico.



Legenda:

Rr: Raio circunscrito radialmente de delimitação da zona de risco

Rc: Raio circunscrito radialmente de delimitação da zona controlada

ZL: Zona livre

ZR: Zona de risco, restrita a profissionais autorizados e com a adoção de técnicas e instrumentos apropriados de trabalho

ZC: Zona controlada, restrita a profissionais autorizados

PE: Ponto da instalação energizado

SI: Superfície construída com material resistente e dotada de dispositivos e requisitos de segurança

Fonte: NR-10

Figura 5.1- Zonas relativas a choque elétrico, conforme a NR-10

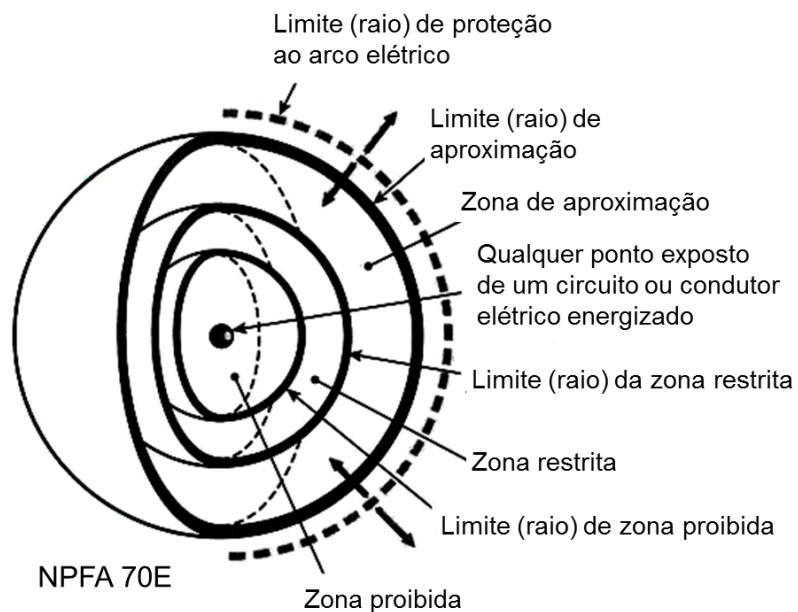


Figura 5.2- Zonas de choque elétrico e exposição a arco elétrico, segundo a NFPA 70E

O fato importante é que a distância mínima para proteção contra os efeitos de um arco elétrico pode ser maior ou menor do que a definida para zona livre de choque elétrico, como apresentado na Figura 5.3. Daí a necessidade de se adotar a prática de Análise de Riscos Associados aos Perigos de um Arco Elétrico.

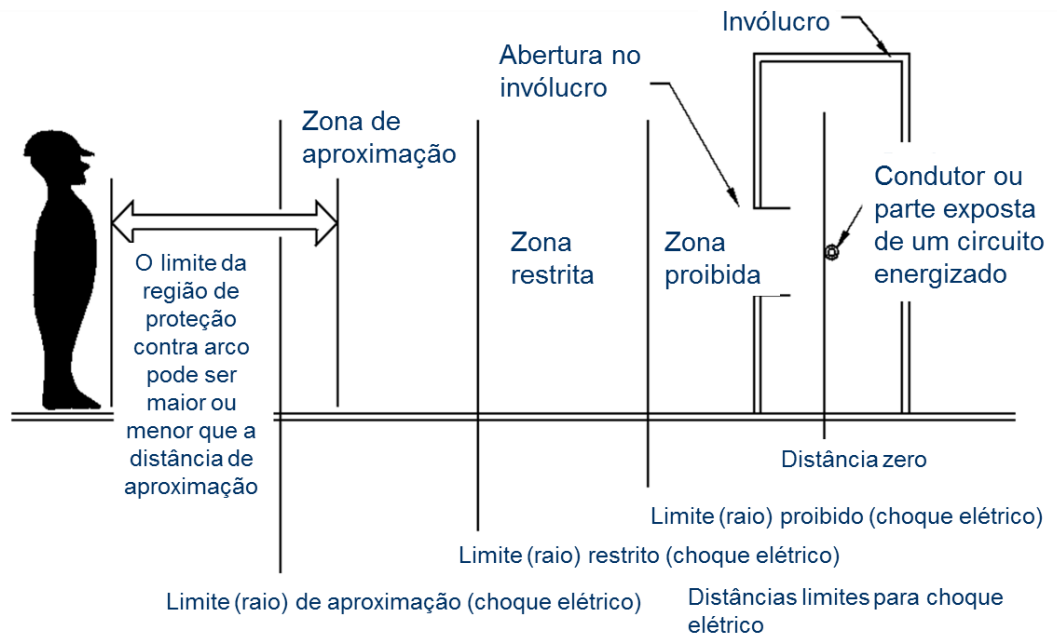


Figura 5.3- Interação entre zonas relativas a choque elétrico e exposição a arco elétrico

A título informativo, as seguintes temperaturas são utilizadas como valores de referência:

- Pele humana – queimadura curável: 63°C;
- Pele humana – morte de células: 96°C;
- Ignição de roupas: de 370 a 760°C;
- Queima contínua de roupas: 760°C;
- Partículas de metal derretido provenientes de um arco elétrico: cerca de 1.000°C;
- Superfície do Sol: 5.000°C;
- Arco elétrico (nos pontos de origem): 20.000°C.

Aqui cabe lembrar que, por definição, uma caloria é a energia necessária para se elevar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius, na pressão de uma atmosfera. Sendo que os valores situados acima do patamar de 1,2 cal/cm² (5,02 J/cm²) de energia calorífica podem provocar queimaduras de 2º grau.

O valor calculado para energia incidente sempre está associado à potência de curto-circuito disponível no ponto da instalação (produto da corrente e tensão elétricas) e do tempo de duração do evento. Por isso, como se pode notar mais adiante, a abordagem feita a partir das informações geradas pelos estudos de curto-circuito e de coordenação e seletividade é fundamental na decisão de como e

onde se pode atuar para redução dos valores encontrados.

Em resumo, a Análise de Risco de Arco determina o nível de energia térmica que pode ser liberada por um arco elétrico dentro das piores condições que possam existir no sistema e a classifica numa categoria “HRC” (“Hazard Risk Category”).

O valor obtido é comparado com o “ATPV” (“Arc Thermal Performance Value” – Valor de Desempenho Térmico frente ao Arco Elétrico) ou o “EBT” (“Energy of Breakopen Threshold” – Energia do Limiar de Rompimento) disponível para as vestimentas e os acessórios a serem usados pelo trabalhador no ponto de intervenção. Desta forma, é possível enquadrar a atividade dentro de faixas que a norma NFPA 70E define como Categoria de Risco (“HRC”), para a condição de trabalho e, então, se definir os requisitos mínimos de vestimentas e EPI a serem adotados.

O “ATPV” é definido como sendo a energia incidente, em cal/cm², aplicada num material ou sistema multicamadas de materiais que resulta numa probabilidade de 50% de ocorrer suficiente transferência de calor através do corpo de prova de forma a provocar uma queimadura de 2º grau na pele humana, com base na curva de “Stoll” (Curva para Queimaduras de 2º grau, conforme trabalhos realizados pelas pesquisadoras Alice Stoll e Maria Chianta, no “Naval Air Development Center” do “Aerospace Medical Research Department” do governo norte-americano, entre o final da década de 1950 e no início de 1960). O “EBT” é definido como sendo a energia incidente, em cal/cm², aplicada num material ou sistema multicamadas de materiais que resulta numa probabilidade de 50% de ocorrer rompimento do corpo de prova.

Na Tabela 5.3 são apresentados, de forma resumida, os requisitos básicos das vestimentas a serem usadas em serviços de eletricidade.

Este processo de análise permite, também, estabelecer o valor do raio de alcance, em metros, da zona de risco de exposição ao nível de energia calculado.

Tabela 5.3: Categoria de Riscos segunda a NFPA 70E (com o valor limite da faixa de energia incidente): Requisitos para Vestimentas.

Requisitos básicos para uso de vestimentas		
Categories de Riscos	Energia incidente Cal/cm ² (J/cm ²)	Requisitos de vestimenta em função da energia incidente e da categoria de riscos
0	1,2 (5,02)	Material inflamável, que não derreta. 4,5 oz/yd ² (Ex.: algodão não tratado).
1	4 (16,74)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para a HRC.
2	8 (33,47)	Camisa FR e calça FR ou capa FR para a HRC.
3	25 (104,6)	Camisa FR e calça FR ou capa FR e conjunto para arco conforme a HRC.
4	40 (167,36)	Camisa FR e calça FR ou capa FR e conjunto para arco conforme a HRC.
Ref.: NFPA 70E (tabela 130.7(C)(11))		Nota: FR ("Flame Resistant"): Material resistente à chama

Quanto ao raio de alcance da zona de risco mencionado no parágrafo anterior, é interessante observar, tanto na Figura 5.1 quanto na Figura 5.2, que o foco de análise se encontra centrado na exposição direta das partes energizadas, sem a interposição de barreiras. Em outras palavras: o uso de barreiras físicas, que sejam mecanicamente resistentes, e que, também, atendam aos requisitos de segurança, elimina as exigências de distâncias mínimas relativas ao choque elétrico e energia incidente. Fato este que, conforme é comentado mais adiante, pode contribuir para abordagem de métodos de construção e uso de CMCP frente ao risco de ocorrência de arco interno.

Cabe aqui lembrar que a regulamentação NFPA 70E requer que tais análises sejam feitas sempre que um trabalhador possa ficar exposto a circuitos que estejam energizados com tensões maiores que 50 volts, enquanto que o guia IEEE 1584 recomenda estudos de energia incidente a partir de 208 V.

5.4. FATORES QUE AFETAM OS NÍVEIS DE ENERGIA INCIDENTE

A Energia Incidente num ponto, proveniente de um arco elétrico, depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

- Corrente de falta presumida no ponto;
- Tempo de eliminação da falta para as condições de arco;
- Distância entre o trabalhador e ponto de arco.

Outros fatores que afetam, também, os níveis de energia disponíveis num ponto, são:

- Tensão de operação;
- Distância entre eletrodos;
- Tipo de aterramento do neutro do sistema elétrico.

Numa primeira abordagem, um profissional poderia ser levado a crer que os locais com maior risco para trabalho em equipamentos energizados são aqueles com valores altos de curto-circuito e com tempos totais de interrupção altos. Porém, a realidade é mais complexa e exige outros cuidados.

Nas Figura 5.4 e 5.5 observam-se o diagrama unifilar e a verificação gráfica da seletividade das proteções de um motor de 100 HP (117 A em 480 V), conectado ao barramento de BT alimentado por um transformador trifásico de 1000 kVA / 13,8-0,48 kV / impedância de 6%, conexão “triângulo-estrela aterrado”. Nesta configuração, um curto-circuito trifásico no trecho entre as buchas secundárias do transformador e o disjuntor geral de BT, possui uma corrente de 19600 A. Nestas condições, pode-se ver que o tempo de resposta do fusível primário (“T4”), representada no nível de tensão de 480 V aumenta para 1 segundo. Valor este que representa o dobro da resposta da proteção à jusante do transformador (“T4 Geral”), ou seja: 500 ms.

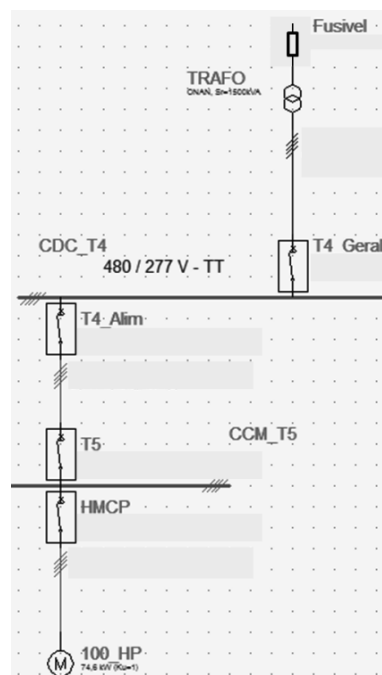


Figura 5.4- Exemplo de diagrama unifilar para análise do tempo de eliminação de uma falta

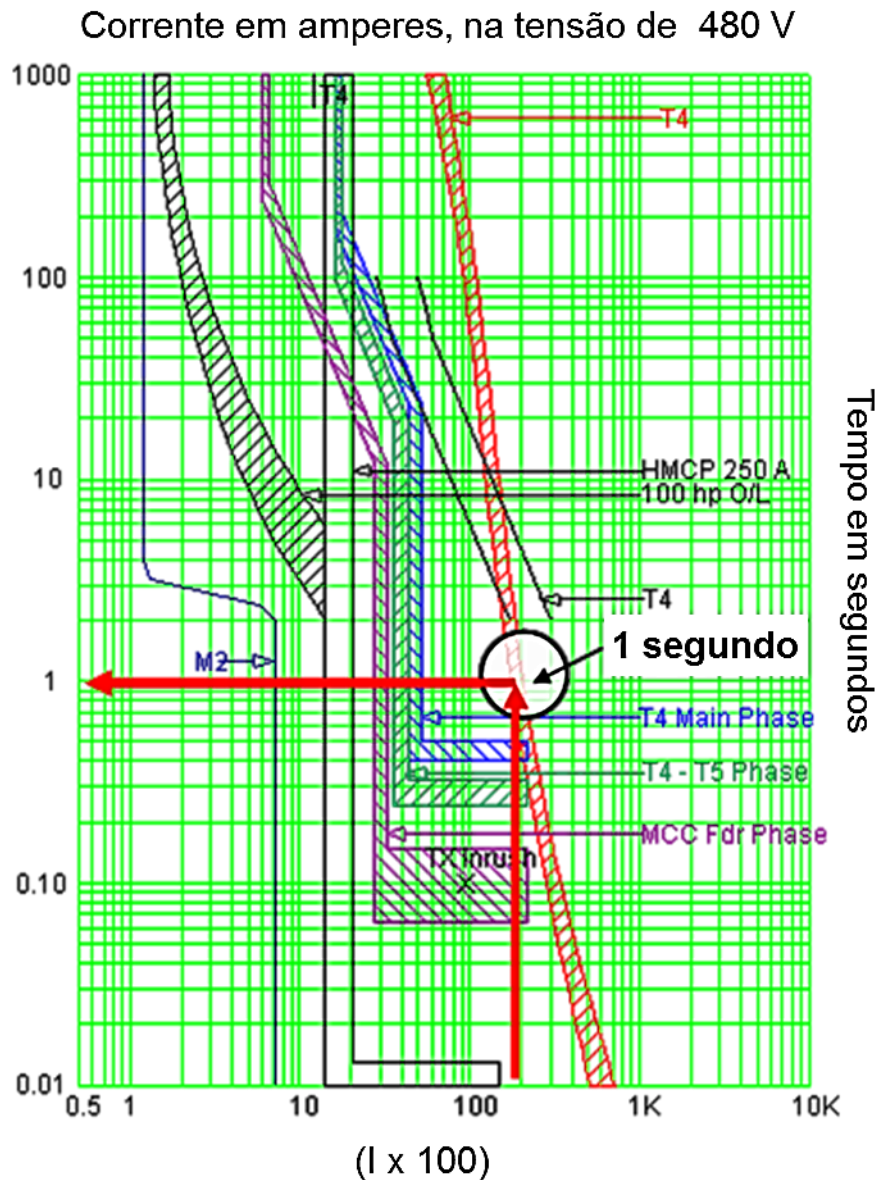


Figura 5.5- Exemplo de tempo de eliminação (no caso, um segundo) de fusível primário para uma falta secundária

Outro exemplo claro da complexidade da análise surge quando se depara com a proteção de sobrecorrente para circuitos críticos como bombas de incêndio, onde a maior preocupação é manter, o máximo possível, o tempo de operação do equipamento.

Por fim, ressalta-se que para se obter a seletividade das proteções, os tempos de eliminação de faltas são cada vez mais altos, à medida que se aproxima do ponto inicial da instalação (entrada da concessionária, ramal principal de alimentação, etc.).

A tabela 5.4 apresenta os intervalos de seletividade normalmente adotados

nos estudos de proteção.

Tabela 5.4: Exemplo de margens de tempo de segurança recomendadas para a coordenação entre elementos de proteção contra sobrecorrentes.

Sequência Arranjo entre Dispositivos	Margem de Tempo Segurança, s (*)
Relé sobre relé – eletromecânicos	0,4 – 0,5
Relé sobre relé – microprocessados	0,2 – 0,3
Relé sobre unidade de disparo incorporada	0,1 – 0,2
Relé sobre fusível	0,1 – 0,2
Fusível sobre relé	0,3 – 0,4
Fusível sobre fusível	0,1
Unidade de disparo incorporada sobre fusível	Espaço visível entre as curvas

Nota:

(*): As margens de coordenação acima se aplicam para os dispositivos operando na faixa de atuação “temporizada” e não na área onde a resposta do elemento é praticamente instantânea.

5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantificação dos níveis de energia incidente e a determinação dos impactos dos mesmos na operação e manutenção de um CMCP, tanto de MT quanto de BT, pode definir mudanças no conceito construtivo e/ou operacional destes. No próximo capítulo são apresentados algumas das filosofias que podem ser adotadas no uso destes equipamentos quanto se leva em conta a energia liberado por um arco elétrico.

6. O USO DE CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE DE POTÊNCIA E A ENERGIA LIBERADA POR UM ARCO ELÉTRICO

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O perigo associado à liberação intempestiva de um arco elétrico é muito grande. Um profissional exposto aos riscos de tal evento se encontra sujeito às várias formas de energia liberadas pelo arco. Elas incluem diversos tipos como: elétrica, térmica, acústica, química, mecânica e luminosa. Sendo que todas se manifestam de alguma forma física:

- Calor intenso;
- Liberação de gases e nuvens tóxicas;
- Lançamento de partes e peças;
- Projeção de materiais derretidos (alumínio, aço, cobre e etc.);
- Barulho excessivo (existem registros de níveis de ruído acima de 120 dB) provocado pela expansão supersônica do ar;
- Ignição de produtos circundantes, tais como: poeiras, gases e vapores inflamáveis;
- Ondas de pressão;
- Luminosidade intensa.

Um exemplo muito claro do aumento da preocupação com a segurança do profissional que possa vir a ter que atuar em áreas próximas a um conjunto de manobra ou operar diretamente um disjuntor de potência é a necessidade de comprovação da operação segura destes equipamentos dentro do contexto de falha: atuação adequada do elemento de proteção contra curto-circuito (SCPD) dentro do seu respectivo compartimento, quando de operações de interrupção em condições de falta.

6.2. CONJUNTOS DE MANOBRA E CONTROLE FRENTE AOS EFEITOS DE UM ARCO INTERNO

No que diz respeito aos conjuntos de manobra e controle, deve-se atentar

para o fato de que a grande maioria dos acidentes ocorrem quando da intervenção nos mesmos, ou seja, com as portas ou anteparos abertos; o que vai contra a própria essência da análise da adequação de um conjunto de manobra quanto a sua classificação IAC (“Internal Arc Classification”). Este fato é reforçado na abordagem do anexo “A” (“Internal fault – Method for testing the metal-enclosed switchgear and controlgear under conditions of arcing due to an internal fault”) da IEC 62271-200 para os conjuntos de manobra e controle de média tensão, de que as verificações de suportabilidade aos efeitos de um arco interno devem ser feitos com portas e tampas do CMC devidamente fechadas. Além disso, este mesmo documento estabelece que a classificação “IAC” e, por conseguinte, os requisitos definidos no seu anexo “A” não são obrigatórios, a menos que solicitado. A tabela “104” (“Summary of technical requirements, ratings and optional tests for metal enclosed switchgear”) desta norma, requer que o usuário informe se o requisito de desempenho para ocorrência de um arco interno (classificação “IAC”) é necessário; sendo que, em caso afirmativo, se aplicam as diretrizes e orientações do já mencionado anexo “A” deste mesmo documento. Na cultura normativa norte-americana existe o documento IEEE Std C37.20.7, que serve de guia técnico para a realização e avaliação de resultados de ensaios de verificação de conjuntos de manobra e controle frente a falta internas por arco em aplicações com tensão até 38 kV eficazes (ou seja, os pontos relativos a baixa tensão também são cobertos por este documento). A adoção dos requisitos e do desempenho listados nesta norma depende também da solicitação do usuário.

Porém, é muito importante lembrar, novamente, que muitas atividades de operação e a grande maioria das manutenções ocorrem, de fato, muito próximas do ponto focal de energia incidente, ou, dizendo em outras palavras: atividades feitas com portas abertas ou com barreiras (tampas e coberturas) removidas. Fato este que limita e, até, invalida toda a análise e os resultados gerados pelo desempenho obtido nos ensaios descritos nas normas mencionadas no parágrafo anterior.

Sendo assim, muito mais do que a preocupação de como um conjunto de manobra e controle deve se comportar frente a um evento de arco interno, o que precisa existir, por parte dos responsáveis pela especificação e fornecimento de conjuntos de manobra e controle, é uma abordagem efetiva da prevenção das causas de falha e da mitigação dos riscos de exposição de um trabalhador aos efeitos

produzidos por um eventual arco com porta aberta ou ausência de tampas ou anteparo.

6.3. EXPOSIÇÃO AOS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO E O USO DE EPI

6.3.1. Calor e Queimaduras

Os fabricantes e fornecedores de tecidos e roupas do tipo “FR” (“Flame Resistant” – Resistente à Chama) tem, cada vez mais, desenvolvido e disponibilizado soluções para sistemas de vestimenta e EPI (Equipamento de Proteção Individual) com a capacidade de limitar possíveis queimaduras de um usuário às de 2º grau, caso o mesmo seja submetido a um evento de liberação de energia por arco elétrico.

6.3.2. Ondas de Pressão

A onda de pressão gerada por uma explosão devida a um arco elétrico está relacionada à corrente de curto-circuito e a distância entre o ponto medido e o arco; não sendo afetada pelo tempo de eliminação da falha. Esta onda estabelece forças capazes de provocar quedas e ferimentos em um trabalhador, com consequências, às vezes, mais sérias do que às associadas a queimaduras. Traumas provocados por estes eventos podem não ser diagnosticados facilmente, numa triagem preliminar, devido à ausência de ferimentos externos. Desta forma, danos ao cérebro, pulmões, ouvidos, fígado, baço e outros órgãos humanos podem ocorrer sem uma evidência externa clara como aquelas associadas a queimaduras ou a choques elétricos.

Logo, pelo que já foi exposto, fica claro a importância de uso de proteções por barreiras físicas como meio de mitigar efeitos de um arco elétrico. O uso de roupas adequadas limita e pode, até mesmo, prevenir as queimaduras associadas a um arco. Outra abordagem é o uso de barreiras físicas propriamente ditas, aplicadas aos conjuntos de manobra e controle, como forma de reduzir os riscos de queimaduras e de oferecer proteção contra ondas de pressão provenientes de um acidente por arco elétrico. Notadamente o uso de compartimentação em CMC de média tensão, conforme as recomendações presentes, tanto nas normas técnicas nacionais (ABNT – NBR) quanto nas internacionais (IEC, ANSI/IEEE), aumenta a segurança humana quando da necessidade de intervenção em partes próximas a outros pontos que não podem ser desenergizados. Outra melhoria que se pode

adotar é o uso de isolamento em todas as partes vivas (onde for possível) a fim de reduzir a possibilidade de ocorrência de uma falha por arco. É, também, uma boa prática o uso de elementos extraíveis com guilhotinas automáticas isolantes ou metálicas presentes nas respectivas celas, garantindo o não acesso a partes energizadas quando da ausência do elemento extraível. E, não menos relevante, é a adoção de filosofia do uso de operações remotas, tanto de manobra e monitoração quanto da movimentação de partes extraíveis do conjunto de manobra e controle. O apelo desta abordagem fica muito mais fácil hoje em dia graças ao atual estado da arte dos sistemas supervisórios e de redes de comunicação.

Dentro da NFPA 70E, encontra-se pontos relevantes ao uso de vestimentas antiarco (“Flash Suits”), como a que é mostrada na Figura 6.1:

- Vestimentas antiarco é um sistema completo de roupas e equipamentos resistentes a chama (“FR”) que recobrem completamente o corpo humano, com exceção de mãos e pés. No conjunto estão incluídos calça, casaco e capuz, do tipo usado por criadores de abelhas, com protetor facial.
- É requerido o uso de capuz antiarco para os casos enquadrados como categoria de risco “3” ou “4”. Esta condição ocorre quando a energia incidente calculada para a tarefa é maior que 8 cal/cm^2 .
- É requerido o uso de protetor facial (ver Figura 6.2) ou capuz antiarco para os casos enquadrados na categoria “2”. Esta proteção deve se enquadrar no requisito de 8 cal/cm^2 , sendo que deve proteger não somente a face do operador como, também, a testa, orelhas e pescoço. Isto se aplica para níveis compreendidos entre 4 e 8 cal/cm^2 .

Normalmente os protetores faciais estão disponíveis na faixa de 10 a 17 cal/cm^2 . Um capuz antiarco é requerido, geralmente, para os níveis que estejam acima de 10 cal/cm^2 .

A partir do sumário acima, é preciso definir mais alguns pontos de análise.

6.3.3. Estresse por Calor

Os capuzes do tipo antiarco cobrem completamente a cabeça do trabalhador dificultando sua respiração normal (quando comparado com a situação sem o capuz). Capuzes com sistemas de ventilação se encontram disponíveis e aumentam o conforto do trabalhador quando comparados com a versão sem ventilação, pois:

- Facilitam a respiração;
- Apresentam um efeito de refrigeração devido à presença de corrente de ar fresco;
- Reduzem a sensação de claustrofobia;
- Reduzem o embaçamento do visor e o suor nos protetores auriculares.

Geralmente, para os níveis de energia incidente acima de 8 cal/cm^2 são usadas duplas camadas de tecido tanto para os capuzes quanto para as roupas resistentes a chama. Com o uso destas duas camadas, existe o risco de aumentar o estresse por calor do trabalhador.



Figura 6.1- Vestimenta com várias camadas: uso de macacão sobre as roupas

6.3.4. Ondas de Pressão

A maioria das vestimentas e capuzes antiarco é feitas com o objetivo principal de se proteger a pele do trabalhador contra queimaduras. Porém, elas, também, fornecem proteção limitada contra os perigos criados pelas ondas de pressão:

- Ruído excessivo;
- Partes e peças lançadas;
- Aspersão de cobre derretido.

6.3.5. Redução de Visibilidade e Destreza

O acabamento típico na cor verde dos visores de proteção e dos capuzes antiarco pode distorcer as cores vistas pelo trabalhador. As cores mais afetadas

são o branco, amarelo, vermelho e azul. O ponto relevante neste caso é o fato destas quatro cores serem muito utilizadas na sinalização de estados e na identificação de barramentos em conjuntos de manobra e controle.



Figura 6.2- Visor de proteção com acabamento na cor verde

As roupas multicamadas, muito comum nas vestimentas antiarco, também reduzem a destreza do trabalhador, diminuem a sua mobilidade e limitam o alcance de seus braços e o uso das mãos.

6.4. SOLUÇÕES PARA A REDUÇÃO DA ENERGIA E MITIGAÇÃO DOS POSSÍVEIS EFEITOS DO ARCO ELÉTRICO

Um trabalho de avaliação dos riscos associados a um arco elétrico nos diversos pontos de um sistema elétrico deve, muito provavelmente, mostrar pontos com altos níveis de energia incidente. Em muitos casos, este valor pode passar de 40 cal/cm^2 .

A escolha de tecnologias complementares a filosofia de segurança nos casos de conjuntos de manobra e controle é cada vez mais determinante no sucesso em se proteger a vida humana e preservar os bens materiais associados a uma instalação. Nos casos em que os mesmos estão sujeitos a altos níveis de energia incidente, podem-se adotar diversas abordagens para a redução destes níveis e a mitigação de seus efeitos.

6.4.1. Conjunto manobra e controle resistente aos efeitos de um arco interno

Apesar de não representarem uma solução definitiva para os problemas de intervenção direta aos compartimentos internos de um conjunto de manobra e controle, o uso de soluções do tipo AR (“Arc Resistant” – Resistente aos Efeitos de um Arco Interno), notadamente em média tensão, é cada vez mais usado (vide a clas-

sificação “IAC – Internal Arc Classification” para CMCP de MT, conforme a ABNT NBR IEC 62271-200). Estes tipos de CMC fornecem uma melhoria na segurança dos operadores e do pessoal circulando nas proximidades. A ideia por trás destes equipamentos é redirecionar a energia, de modo a proteger o ser humano próximo. Esta solução se enquadra dentro de uma abordagem do tipo reativa, ou seja: a característica AR surge como uma reação a um arco interno que já tenha ocorrido.

Um modo de visualizarmos o quanto um CMC, que seja resistente aos efeitos de arco interno, pode proporcionar de ganho em termos de segurança humana é através da comparação de como a norma NFPA 70E, em sua tabela “130.7 (C) (9)”, classifica a categoria de risco (HRC) de certas atividades relativas aos conjuntos de manobra e controle com tensões entre 1 e 38 kV.

A Tabela 6.1 apresenta um extrato de parte da tabela “130.7 (C) (9)”, mencionada no parágrafo anterior. Esta tabela (a ser usada somente no caso de não se ter disponível o estudo de análise de energia incidente) informa a classificação da Categoria de Risco (HRC) conforme a atividade a ser desempenhada. Neste material é possível se comparar o nível da categoria de risco a ser considerado para atividades pré-definidas, quando da ausência do estudo prévio de análise de energia incidente. Como esta tabela foi criada, originalmente, para o universo das normas “NFPA / ANSI / IEEE / NEMA”, são utilizados os termos “metal-clad” e “arc resistant”. O primeiro termo, definido pelos requisitos e definições da norma “IEEE C37.20.2”, pode ser associado a classificação “LSC-2B / PM” da ABNT NBR IEC 62271-200. Já o segundo termo, que tem as suas origens na IEEE C37.20.7, está diretamente ligado a classificação “IAC” (“Internal Arc Classification”) do universo IEC e ABNT.

É importante atentar, quando da visualização da Tabela 6.1, que a classificação “Arc resistant” (tanto o “tipo 1” quanto o “tipo 2”, conforme a IEEE C37.20.7) para CMC se aplica para os casos onde a corrente disponível de curto-circuito é no máximo igual ao valor declarado para a suportabilidade do equipamento no caso de um arco interno.

Um ponto interessante a se destacar nestes casos é o fato de que além de oferecer proteção aos efeitos térmicos do arco, um CMC – AR, graças aos seus sistemas de exaustão, vai ao encontro à preocupação crescente com as possíveis sequelas criadas por ondas de pressão.

Tabela 6.1: Classificação da Categoria de Risco – HRC, por atividade (extrato da tabela 130.7(C) (9) da NFPA 70E / 2009).

Tipo de Atividade	HRC (Categoria de Risco)	
	“Metal-clad”	“Arc Resistant”
- Operação do disjuntor com a porta aberta	4	N/A
- Operação do disjuntor com a porta fechada	2	0
- Movimentação do disjuntor com a porta aberta	4	4
- Movimentação do disjuntor com a porta fechada	4	0
- Movimentação da gaveta de TPs com a porta aberta	4	4
- Movimentação da gaveta de TPs com a porta fechada	4	0
- Abertura de portas com exposição de partes vivas	3	N/A
- Remoção de coberturas aparafusadas com a exposição de partes vivas	4	N/A

Outro ponto complementar, para o caso de CMC-AR (IAC) em média tensão, onde se encontra altos níveis de energia de arco, é a preocupação com os gases que vão surgir em decorrência de uma descarga elétrica interna. Nenhuma norma para conjuntos de manobra e controle e instalações elétricas, tanto em MT quanto em BT, avalia o possível escape de gases tóxicos provenientes da queima dos materiais existentes internamente no painel. Daí, uma forte urgência em se considerar a forma de escape de gases para sua rápida remoção da sala onde se encontram instalados os equipamentos, realçando a importância do uso de dutos para guiar a maior quantidade possível destes subprodutos para fora do ambiente, conforme mostrado na Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5.

A Figura 6.3 mostra um CMCP de MT, tipo AR, provido de um sistema coletor / exaustor de gases, usado para redirecionamento de energia e remoção de subprodutos tóxicos e incandescentes, durante um ensaio de verificação do atendimento dos requisitos IAC, conforme o anexo A da ABNT NBR IEC 62771-200.



Figura 6.3- CMC-AR, de média tensão, com sistema coletor / exaustor de gases

A Figura 6.4 mostra um CMCP de MT, do tipo IAC (AR), com sistema coletor de gases. Nesta imagem se pode notar o duto de exaustão para o redirecionamento externo dos subprodutos originados no caso de um arco interno. Já a Figura 6.5 é uma vista frontal do mesmo conjunto mostrado na Figura 6.4

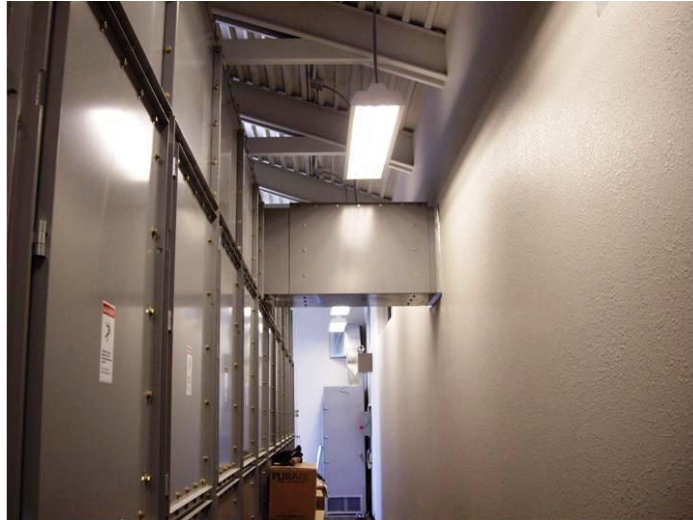


Figura 6.4- CMCP com sistema coletor de gases e duto de exaustão externa



Figura 6.5- Vista frontal do CMCP mostrado na Figura 6.4

Como já mencionado anteriormente, apesar de todas as suas vantagens e possibilidades, o CMC-AR (IAC) ainda não representa a solução definitiva. Isto se deve ao fato de que a grande maioria dos acidentes em conjuntos de manobra e controle ocorre quando da intervenção nos mesmos, ou seja: com as portas ou anteparos abertos; o que vai contra a própria essência da análise da adequação de um equipamento quanto a sua condição IAC (“Internal Arc Classification” – Classificação de Arco Interno).

Esta solução é, portanto, considerada do tipo qualitativo, visto que não se

consegue definir um valor calculado para a redução obtida na energia incidente.

6.4.2. Conjunto manobra e controle com limitação dos riscos de ocorrência de um arco elétrico

Muitas das atividades usuais de operação ou manutenção ainda ocorrem próximas aos pontos focais de energia incidente. Sendo assim, muito além da preocupação de como um CMC vai se comportar frente a um arco interno, os profissionais responsáveis pela especificação e fabricação de conjuntos de manobra e controle devem ter uma abordagem proativa da prevenção das causas de falha e da mitigação dos riscos associados aos efeitos produzidos pelo arco. Tanto o anexo A da IEC 62271-200 quanto o anexo B da IEEE C37.20.7 procuram descrever as possíveis causas da ocorrência de um arco interno e as possíveis medidas preventivas. No caso de um equipamento já existente, mas que ainda não tenha sido instalado, um processo de adequação das modificações, que sejam pertinentes, deve ser discutido exaustivamente com o fabricante original, antes de ser executado, de modo a garantir que as possíveis alterações no projeto construtivo não afetarão a validade dos ensaios de tipo para as demais características de desempenho do mesmo (por exemplo: elevação de temperatura, impulso atmosférico, etc.).

Portanto, é fundamental adotar os seguintes enfoques e abordagens, quando da especificação e análise de um conjunto de manobra e controle:

- Solicitar a segregação de compartimentos, unidades e partes de um conjunto de manobra e controle em todos os projetos novos. Sendo que, no caso de equipamento existente, mas que ainda não tenha sido instalado, um processo de modificações pertinentes deve ser discutido com o fabricante original e adotadas, dentro das possibilidades do respectivo projeto construtivo;
- Para equipamentos existentes, verificar quais são as possibilidades seguras, além do âmbito técnico e econômico para a modernização ou substituição de conjuntos, subconjuntos ou partes;
- Para Conjuntos de Manobra e Controle de Média Tensão, se recomenda o uso dos tipos construtivos LSC2B-PM ou LSC2B-PI. Conforme as normas ABNT NBR IEC 62271-200 e IEC 62271-200, o uso do termo LSC (“Loss of Service Continuity”) se refere à categoria de perda de continuidade de servi-

ço; definindo qual é a interação entre compartimentos e unidades funcionais quando da abertura de alguma porta ou barreira de um compartimento de potência, conforme já descrito na Seção 3.2 deste trabalho (ver Tabela 3.3). Completando esta classificação, tem-se a classe de divisão (ver Tabela 3.2), que define o material utilizado na sua confecção: PM, que se refere ao uso de partições metálicas, inclusive para as guilhotinas, e PI, o qual se refere ao uso de partições isolantes, em pelo menos uma divisória ou guilhotina. É interessante ressaltar que os requisitos construtivos para um conjunto de manobra de média tensão do tipo “metal-clad”, conforme a norma IEEE C37.20.2, e tão comuns em diversas instalações existentes no território nacional, se enquadra, conforme a IEC, na classificação do tipo LSC2B-PM. A Figura 6.6 mostra a vista lateral de uma seção de um CMCP de MT, tipo LSC2B-PM, com um disjuntor por coluna. Nesta imagem, em virtude da coluna se encontrar sem as tampas laterais de acabamento, pode-se ver o compartimento de controle e os de potência: elemento de manobra, barramento principal e de conexões. Na Figura 6.7, se pode ver a parte externa de três seções de um CMCP de MT, padrão ANSI, com dois disjuntores por coluna, que se enquadra no tipo definido pela IEC como LSC2B-PM. Os requisitos construtivos descritos da IEEE C37.20.2 são tão restritivos e exigentes, no que se refere a abordagem da segurança humana e patrimonial que, de fato, muitas especificações técnicas, apesar de terem as suas origens baseadas na cultura IEC, demandam o uso adicional de algumas características construtivas listadas no documento mencionado anteriormente; como, por exemplo: barras e conexões isoladas, separação do compartimento de barras principal entre seções (colunas) adjacentes por barreiras metálicas com buchas de passagens, etc. A necessidade dimensional de cada uma das filosofias construtivas descritas até este ponto pode ser ilustrada pelo conjunto ANSI da Figura 6.7. Este arranjo para 15 kV e 50 kA apresenta três colunas com cinco UFs, que são compostas, da direita para esquerda, por uma entrada com compartimento auxiliar especial, três saídas equipadas e uma saída com previsão para instalação futura. O conjunto tem uma largura total de 2743,2 mm (3 x 914,4 mm) e uma profundidade de 2445 mm. Uma solução IEC equivalente, com um elemento por coluna, teria uma largura total de 5000 mm (5 x 1000 mm) e uma profundidade de 1502

mm. Desta forma, a estrutura ANSI ocuparia uma área de 6,7 m², enquanto que a IEC necessitaria de 7,5 m².

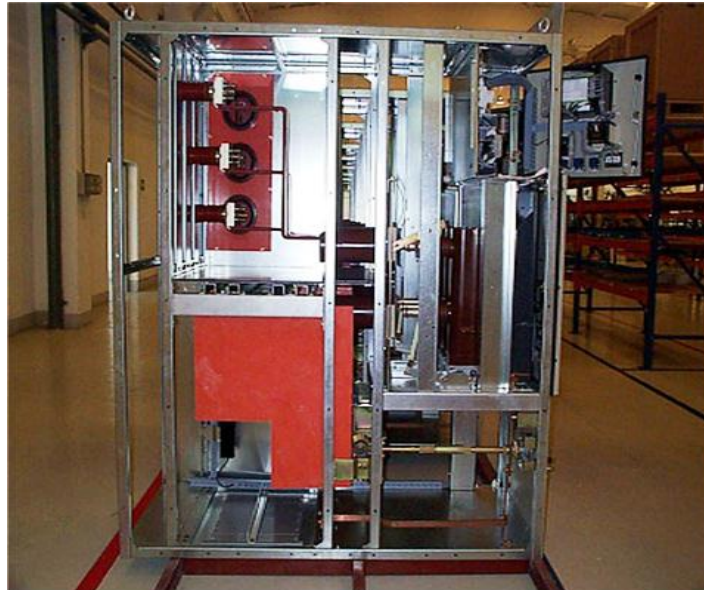


Figura 6.6- CMCP de MT, tipo LSC2B-PM, com um disjuntor por coluna



Figura 6.7- CMCP de MT, padrão ANSI, com dois disjuntores por coluna

- Adotar sistemas que diminuam ou minimizem o nível de energia liberada por um arco interno. Este conceito está relacionado com a rápida detecção da ocorrência de um arco interno e a sua eliminação. A detecção mais efetiva atualmente é feita a partir da sensibilização provocada pela presença de altos níveis de luminosidade dentro de um compartimento em que esteja ocorrendo um arco elétrico (por uso de fibras óticas contínuas ou detectores pontuais de luz), associada, sempre que possível, aos níveis de corrente do respectivo

circuito, oriundos dos sinais de TC, que alcancem valores superiores a um patamar pré-ajustado, conforme ilustrado na Figura 6.8. A diminuição do tempo de arco fica associada à resposta de um dos seguintes sinais:

- a. Abertura do interruptor a montante do ponto de defeito (o arco perdura enquanto o interruptor não abrir).
- b. Fechamento de dispositivo trifásico de curto-circuito pleno do barramento de alimentação do defeito (“cross-bar”). O arco é “substituído” por um curto-circuito franco e, conseqüentemente, extinto de forma imediata (a falta é transferida de uma condição de arco para uma falta sólida, em tempos muito pequenos – da ordem de 2 a 4 milissegundos), conforme a Figura 6.9. Cabe ao sistema de proteção garantir a abertura da corrente de curto-circuito associada a esta falta plena. Porém, esta opção preocupa o usuário pelo estresse que é imposto ao transformador que está à montante do CMC. O desempenho do barramento do painel é uniforme ao longo de sua vida útil, mas o mesmo não se pode afirmar para um transformador. O processo natural de envelhecimento dos materiais isolantes, associado ao fato de alterações das reatâncias do mesmo ao longo do tempo por pequenas mudanças geométricas, dificultam os fabricantes de transformadores imersos em líquidos isolantes em definir o patamar e as suas variações para a suportabilidade térmica e dinâmica ao longo de toda a vida do equipamento.

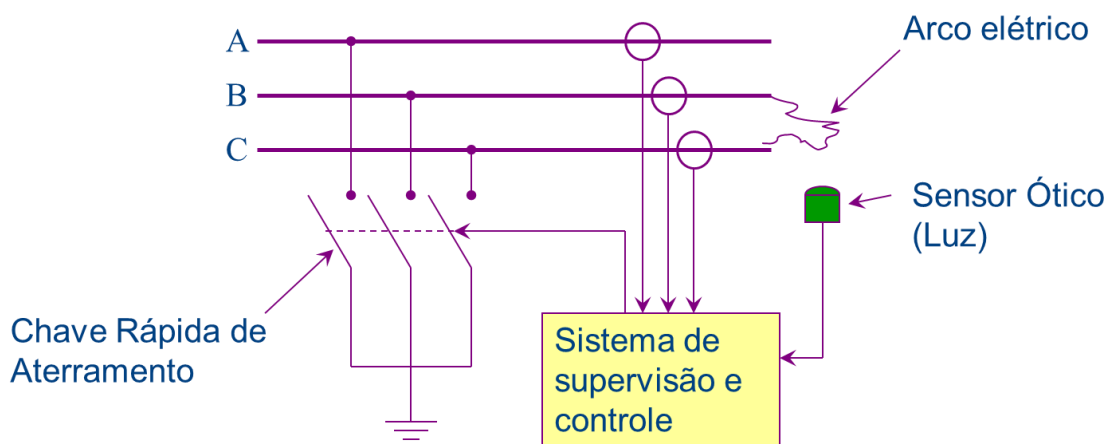


Figura 6.8- Esquema de detecção por corrente (TC) e luz (sensor óptico) de arco interno

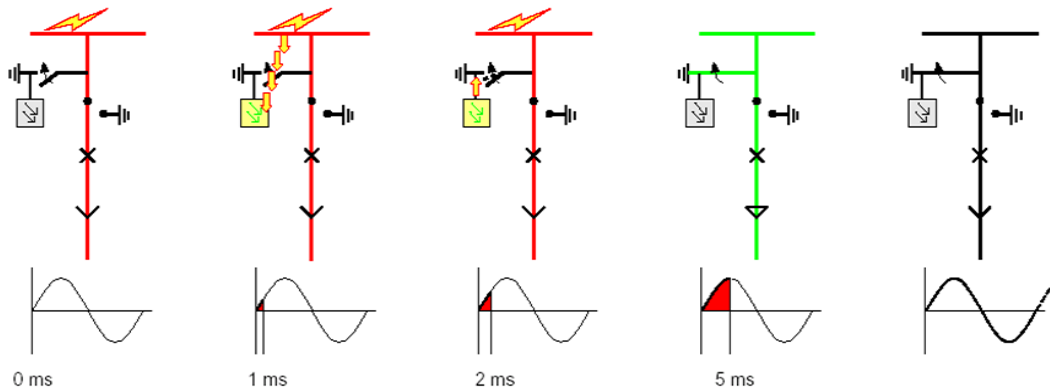


Figura 6.9- Redução da energia de um arco interno por inserção de curto-circuito franco em paralelo com a falha original

6.4.3. Uso de Dispositivos Removíveis e Extraíveis.

O uso de dispositivos removíveis e extraíveis aumenta em muito a possibilidade de uma intervenção segura, tanto no elemento de manobra propriamente dito, quanto no circuito à jusante do elemento (quando se tem garantido distâncias de seccionamento, conforme requerido em norma). Sendo que a operação de retirada do elemento tem que estar, obrigatoriamente, associada à presença de intertravamentos de segurança que garantam a movimentação do elemento somente quando o mesmo estiver desenergizado e permitir a operação do mesmo somente em posições previamente definidas (“inserido”, “teste” ou “extraído”).

O motivo por trás destas exigências é evitar a formação de arco entre terminais desconectáveis na movimentação de unidades que estejam ligadas a circuitos que estão energizados.

6.4.4. Uso de Barreira e Dispositivos Remotos.

A movimentação de unidades extraíveis com as portas frontais abertas ou sem barreiras de interposição, conforme mostrado na Figura 6.10, é sempre uma operação de risco.



Figura 6.10- Operação de movimentação de elemento de manobra extraível

Por outro lado, o uso de portas frontais fechadas ou de barreira de interposição oferece uma proteção mecânica para a redução dos impactos térmicos e físicos, gerados pela ocorrência de um arco, como exemplificado na Figura 6.11. Nos casos de CMC com a classificação IAC, esta é uma forma de manter a eficácia da segurança dos mesmos, visto que assim se reduz a possibilidade de ocorrer um acidente com uma parte do invólucro do equipamento aberta. Esta seria uma abordagem de caráter qualitativo. A NFPA 70E, conforme indicado na Tabela 6.1, usa o conceito de barreiras, associadas principalmente a CMCP com classificação AR, para reduzir a Categoria de Risco (HRC) conforme a atividade a ser desempenhada.



a- Abertura da portinhola de acesso



b- Movimentação do elemento extraível

(Uso de barreira entre operador e pontos sujeitos a ocorrência de um arco elétrico)

Figura 6.11- Movimentação de disjuntor extraível, com a porta frontal fechada

Uma forma mais segura e que permite se quantificar, já que seria baseada no parâmetro de distância, é o uso de dispositivos que permitam afastar o operador do painel durante estas atividades, como mostrado na Figura 6.12. Desta forma um ser humano pode se posicionar fora da zona de risco. Nestes casos, vários fabricantes de elementos de manobra ou empresas especializadas em serviços de manutenção têm ofertado versões com operação remota. Afinal, um dos elementos importantes na mitigação dos efeitos de um arco interno é manter o elemento humano fora da zona de risco.

Além do processo de movimentação remota dos elementos de manobra, o uso de sistemas de operação e acesso remotos é fator determinante no aumento da segurança do pessoal de operação e engenharia, de manutenção ou de proteção. No passado já se usavam chaves, sinaleiros e indicadores remotos (por exemplo, através do uso de sinais de 4 a 20 miliampères). Mas, hoje em dia, graças aos diversos sistemas inteligentes e redes de campo existentes, fica muito

mais efetivo a interface remota para a manobra de dispositivos, leituras de grandezas e diagnósticos de unidades, como apresentado na Figura 6.13.



Figura 6.12- Operação remota de movimentação de elemento de manobra extraível



Figura 6.13- Acesso remoto através de uso de Redes de Comunicação

6.4.5. Diminuição dos valores da corrente presumida de curto-circuito e dos tempos de interrupção dos dispositivos de proteção a montante do ponto de intervenção.

Nesta opção, a redução dos níveis de energia incidente é buscada através da redução dos valores da corrente de curto-circuito disponíveis e/ou diminuição do tempo de resposta das proteções. Esta abordagem envolve muito a figura do engenheiro de Sistemas de Potência, já que o mesmo deve interagir com o usuário a fim de entender as necessidades e as particularidades da instalação, seja ela nova ou existente. O processo é rico em opções e soluções. Sendo algumas delas comentadas a seguir.

- Redução das correntes de curto-circuito. Nesta abordagem, as opções passam por:

- a. Uso de Reatores Limitadores de Corrente. Esta solução pode ser adotada tanto em projetos novos quanto nas modernizações de instalações existentes. Porém deve-se sempre avaliar o impacto desta opção frente aos estudos de queda de tensão em partidas de grandes motores. Um exemplo de uso do reator limitador de corrente, em montagem trifásica na coluna de entrada de um CCM de BT, pode ser visto na Figura 6.14.



Figura 6.14- RLC trifásico em um CCM de BT

- b. Uso de Sistemas Aterrados por Resistores de Alto Valor Ôhmico. A Figura 6.15 ilustra um modelo usado em BT deste tipo de sistema. Esta filosofia visa limitar as correntes de falha entre os condutores de fase a terra. Desde que o fator de aterramento do sistema não gere sobretensões perigosas, representa uma boa opção já que cerca de 75% dos defeitos reportados são do tipo monofásico (falta a terra). Esta opção de filosofia de operação do sistema tem que estar em linha com a determinação, pelo engenheiro de estudos de sistemas de potência, dos valores de sobretensão que vão ocorrer, pois, conforme o caso, pode ser necessário adotar equipamentos com isolamento aumentada (capaz de trabalhar em condições de sobretensão). Além de se ter em mente que o primeiro defeito a terra é “por conta da casa” (o valor é limitado basicamente pelo resistor), mas caso ocorra uma segunda falha a terra que envolva uma fase diferente da primeira, a corrente de curto-circuito fase-fase tem um valor superior ao nível anterior, com um aumento da energia incidente correspondente nos pontos de defeito.



Figura 6.15- Aterramento por alta resistência do neutro de um sistema de 480 / 277 V

- c. Uso de Disjuntores e Fusíveis Limitadores de Corrente. Sendo que aqui o maior cuidado a ser tomado é que o menor valor da menor corrente de curto-circuito pode vir a ficar fora da região de limitação do fusível, o que, por conseguinte, representa um tempo maior para a extinção do defeito. Neste caso, o tempo de arco no ponto de falha pode, apesar da menor valor de corrente, levar um nível alto de energia incidente no ponto. Na Figura 6.16 observa-se um exemplo de uma aplicação incorreta de fusíveis limitadores de corrente em MT, do tipo de retaguarda: explosão dos corpos cerâmicos devido a sobrepresão interna originada pela ocorrência de uma falha com corrente inferior ao valor I_3 (corrente de mínima fusão).



Figura 6.16- Uso inadequado de elementos fusíveis limitadores de corrente

- d. Uso da filosofia de se manter os disjuntores de interligação abertos na operação das unidades com mais de uma entrada (alimentadores das barras

não paralelados). Se for de todo inviável, pelo menos considerar a possibilidade de uso de filosofias de manutenção que permitam abertura do paralelismo durante intervenções com o uso ou não de reatores limitadores de corrente em paralelo com o disjuntor de interligação (com o equipamento fechado o reator está “fora”, mas o mesmo é inserido no sistema com a abertura do elemento de manobra). Esta opção leva a possibilidade de redução temporária da energia incidente e, conseqüente, redução dos requisitos de EPI ou EPC.

- Diminuição dos tempos de respostas das proteções.

A solução ótima neste contexto é aliar à redução dos valores das correntes de curto-circuito a diminuição dos tempos de reação dos dispositivos de proteção. Para os sistemas eletromecânicos convencionais, esta é uma tarefa quase impossível, ainda mais se for levado em conta os requisitos de coordenação e seletividade dos sistemas de proteção. Porém isto pode ser contornado com a substituição dos sistemas antigos por unidades microprocessadas de proteção (relés numéricos). Com esta simples modificação, os tempos de tolerância entre ajustes de tempo podem ser reduzidos dos tradicionais 400 a 500 ms para faixas de 250 a 350 ms, já que não ocorre mais o “fantasma” do sobrealcançe (“overtravel”) dos elementos a disco de indução e nem os problemas com mancais ou freios. Outra vantagem é a melhor resposta, graças a algoritmos implantados em unidades numéricas, frente à possível saturação dos transformadores de corrente. Porém o grande salto foi a ampliação do conceito de Intertravamento Seletivo por Zonas (“ZSI” – Zone Selective Interlock), presente já na década de 1980 em alguns produtos de fabricantes norte-americanos, para o que hoje se convencionou chamar de Seletividade Lógica. Este recurso tem sido muito difundido, graças ao uso de relés numéricos, os quais possuem entradas e saídas digitais associadas aos recursos programáveis através de lógica Booleana. Estes dispositivos, mais do que simples relés, são o que hoje se convencionou chamar de IED (“Intelligent Electronic Device” – Dispositivos Eletrônicos Inteligentes). Os relés do tipo microprocessado podem ser programados de modo a permitir o processamento de várias informações. Graças a estes recursos, estes dispositivos permitem que os tempos de respostas frente a defeitos possam ser menores.

A idéia básica é que, em casos de faltas com altas correntes, estas unidades possam, através de sinais discretos ou por comunicação via rede, tomar a decisão de abandonar os ajustes de tempo que foram definidos pelo estudo de Seletividade e atuar mais rapidamente (na ordem dos 70 ms ou menos). Um exemplo de uso de Seletividade Lógica é mostrada na Figura 6.17, onde, graças a este sistema, se pode obter uma redução no tempo de resposta da proteção da entrada de 500 ms para 80 ms, com uma conseqüente redução no nível de energia incidente; o que nos permite ter uma diminuição da categoria de risco (HRC). O uso desta solução tende a crescer mais ainda com a disseminação da norma IEC61850 e o uso das mensagens “GOOSE”.



Figura 6.17- Exemplo de aplicação de Seletividade Lógica (ZSI)

- Alteração dos ajustes da proteção
Neste caso, se adota a modificação temporária dos ajustes da proteção a montante do ponto de intervenção. O uso de unidades que permitam a redução temporária do valor de partida dos elementos e a aceleração das respostas de tempo (seja pela mudança de ajustes ou do tipo de curva) das unidades de sobrecorrente vai ao encontro a necessidade de se diminuir, de forma temporária, o nível de energia disponível no ponto de trabalho, sem prejudicar, de modo permanente, os ajustes definidos nos estudos de coordenação e seletividade das proteções. Esta condição pode ser implementada na média tensão com o uso de relés microprocessados que possuam grupos diversos

de ajustes da proteção e que ofereçam meios de mudar os mesmos de forma remota (via entrada digital ou sistema de comunicação), permitindo a redução de energia incidente através da diminuição do valor de partida da unidade de sobrecorrente associada à redução do tempo de resposta (pela mudança do tipo de curva “tempo x corrente” usada ou pelo aumento da sensibilidade da unidade através de curvas mais “baixas” – tempo de resposta mais rápido). A Figura 6.18 mostra o frontal do compartimento de controle de uma seção de um CMC de MT, onde se pode ver um relé microprocessado e de uma chave seletora, a qual permite a alteração, através de uma entrada digital do elemento numérico, do grupo de ajustes da proteção de sobrecorrente, conseguindo desta forma, a redução do nível de energia incidente. É interessante mencionar que, neste caso, a sinaleira, na cor azul, situada ao lado esquerdo da chave de comando para a mudança dos grupos de ajustes, fica ativada (piscando intermitente) enquanto estiver selecionado o modo de redução de energia (lembrando que esta é uma condição, obrigatoriamente, temporária e que afeta os ajustes normais necessários a seletividade das proteções do sistema).



Figura 6.18- Sistema de redução de energia incidente através da mudança do grupo de ajustes da proteção

A Figura 6.19 mostra, através da representação das curvas “tempo x corrente” (Folha de Verificação Gráfica da Seletividade das Proteções), a redução obtida nos níveis de energia incidente em uma das saídas de um CDC de BT com a aplicação de um sistema similar ao mostrado na Figura 4.19: diminuição da

energia incidente conseguida pela redução temporária da corrente de partida e do tempo de disparo da proteção, como comentado na Seção 4.3.

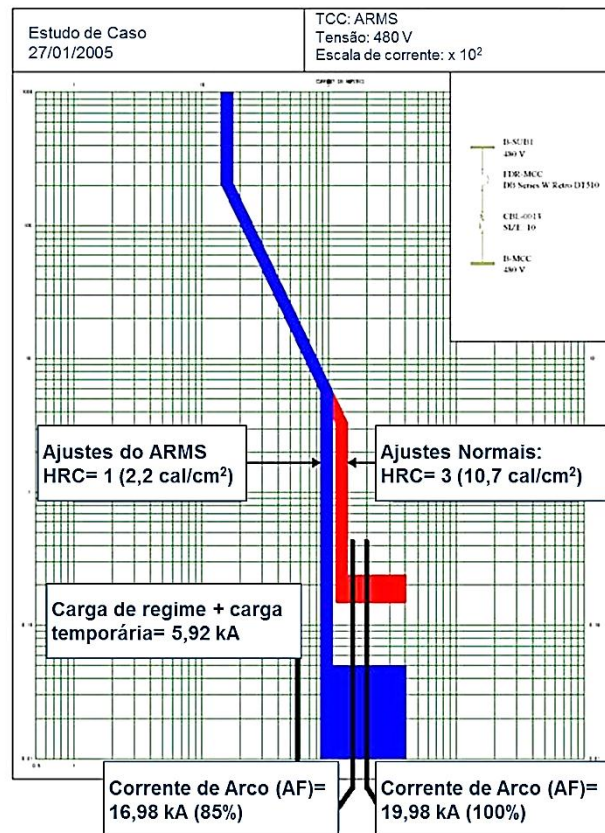


Figura 6.19- Coordenograma ilustrando a redução da energia incidente obtida com o sistema da Figura 4.19

6.4.6. Práticas de Manutenção Segura

Além das já comentadas opções de uso de recursos que protejam o trabalhador através de barreiras físicas ou pelo distanciamento do mesmo, existe a possibilidade de se adotar práticas que ajudem na redução dos níveis de energia incidente nas diversas atividades de manutenção e operação. Isto é obtido graças à adoção de disparadores diretos (no caso de disjuntores de potência de BT) ou relés secundários microprocessados que apresentem a opção de escolha de grupos de ajustes dos valores das proteções. Esta característica permite a um profissional que tenha que intervir em um equipamento faça uma mudança temporária nos ajustes da proteção, levando os mesmos para valores mais sensíveis (corrente de partida mais baixa e tempo de resposta mais rápido das unidades de sobrecorrente). Aqui a ideia é composta por duas aproximações para o problema da energia associada à corrente de falta no ponto. Usar um ajuste de corrente mais sensível, o

que é muito mais compatível com os defeitos envolvendo arco elétrico, e se ter para um mesmo valor de corrente uma correspondente redução no tempo de reposta da proteção para a eliminação do defeito. Logo, a soma efetiva destes dois parâmetros nos leva a um patamar menor de energia incidente. Produzindo um contexto mais seguro e mais viável para a manutenção e operação do equipamento em questão, como ilustrado na Figura 6.19.

Também é claro que programas de segurança aliados a instruções e práticas seguras de manutenção precisam ser definidos e implementados. Dentro deste contexto, deve-se atentar para os treinamentos periódicos do pessoal envolvido em atividades em eletricidade (uso da filosofia “LOTO”: “Lock-out / Tag-out” – Travar / Identificar nas intervenções em equipamentos e instalações) e para a adoção do uso sistemático de etiquetas informando os níveis de energia presente, EPI necessário e as distâncias requeridas, conforme exemplificado na Figura 6.20.

 ATENÇÃO	
Risco de Choque e Arc Flash Necessário EPI Adequado	
Risco Categoria 2	EPI Necessário
Proteção contra Arc Flash 1208 mm Região de Risco de Arco 5.9 cal/cm ² Risco de Arco em 457 mm 4.0 - 8.0 cal/cm ² Faixa de risco de arco	<ul style="list-style-type: none"> • Camisa e Calças não propagante de chamas • Capacete + Óculos de Segurança + Protetor Auricular • Luvas de Segurança • Sapatos de Segurança
Proteção contra Choque 380 VAC Risco de Choque 1067 mm Região de Aproximação Limitada 305 mm Região de Aproximação Restrita 25 mm Região de Aproximação Proibida	
Equipamento: DJ-TR-2 6.4+6.5	
Atenção: Mudanças no equipamento ou configuração do sistema invalidam os cálculos e os EPIs necessários	

Figura 6.20- Exemplo de uma etiqueta de advertência

6.4.7. Uso de novas tecnologias preditivas

Graças aos avanços da tecnologia dos sistemas de interface e coleta de dados para monitoramento contínuo, tanto de descargas parciais quanto de termografia, podem-se adotar práticas que evitem a ação direta do ser humano, eliminando a necessidade de abertura de tampas e portas de conjuntos de manobra e controle. Também, o uso de sistemas de monitoramento em tempo real das condições da

isolação de equipamentos de média tensão, através de medições relativas às descargas parciais, reduz a possibilidade de virem a ocorrer falhas intempestivas; já que uma condição anormal pode ser identificada muito antes de evoluir para uma falha com arco.

Na Figura 6.21 pode-se ver exemplos de janelas para montagem em portas, tampas ou chapas de painéis a fim de permitir o acoplamento de câmera de termovisão. Esta abordagem permite o monitoramento de temperatura, através de registros de imagens térmicas feitas por detrás de uma barreira metálica aterrada.



Figura 6.21- Exemplos de janelas para termovisão

Nas Figura 6.22 se vê exemplos de instalação de janelas termográficas em colunas de um CMCP de MT. Como se pode notar, elas são posicionadas de modo a permitir o registro de imagens dos terminais de conexão de cabos, mantendo-se uma barreira metálica aterrada entre o operador e pontos energizados.



Figura 6.22- Instalação de janelas termográficas

A Figura 6.23 mostra a instalação de 3 sensores (acopladores / divisores capacitivos), sendo um para cada fase, utilizados como parte de um sistema de monitoramento contínuo de descargas parciais (DP) em um conjunto de manobra e controle de média tensão.



Figura 6.23- Acopladores capacitivos para monitoração contínua dos níveis de DP

A Figura 6.24 mostra a unidade de coleta e centralização de dados da monitoração contínua dos níveis de descargas parciais em CMCP de MT, obtidos a partir dos sensores mostrados na Figura 6.23. Os dados podem ser, normalmente, repassados a partir desta unidade, via rede de comunicação, para um sistema supervisório.



Figura 6.24- Unidade microprocessada de monitoração contínua de DP

6.4.8. Sistematização das práticas e filosofias de instalação e comissionamento

Todos os pontos até aqui discutidos podem não atingir as metas traçadas se duas etapas não receberem a devida atenção: a instalação e o comissionamento dos conjuntos de manobra e controle.

A empresa responsável pela instalação de um CMC deve seguir todas as recomendações relativas ao mesmo, as quais precisam ser fornecidas pelo fabricante. Isso é crucial para a operação correta e segura dos equipamentos, já que muitas características de desempenho, principalmente no que se refere a parâmetros verificados pelos ensaios de tipo, podem ser afetadas pelo processo de montagem.

O trabalho da equipe de comissionamento é muito importante. Este processo é a última barreira antes da colocação de um equipamento ou instalação em operação. Um simples descuido pode ser catastrófico, como se pode reparar em alguns exemplos a seguir, onde houve falhas no método de verificação do torque usado nos parafusos de conexões elétricas.

A Figura 6.25 mostra as conexões de saída da campânula da fase central de um dispositivo de manobra de um CDC de MT. Pode-se ver claramente os sinais de sobreaquecimento devido a falta de torque aos parafusos de acoplamento. Na Figura 6.26 pode-se ver, a partir de uma visualização inferior da região mostrada na Figura 6.25, os detalhes da conexão defeituosa, onde se notam os parafusos de acoplamento totalmente frouxos: sinal claro de que não houve nenhuma atividade de verificação neste ponto da instalação. Nem se fazia necessário os procedimentos padronizados de reaperto com torquímetro e medições das resistências ôhmicas dos circuitos, usados no comissionamento, para se detectar o problema. Neste caso, bastaria uma simples inspeção visual.



Figura 6.25- Conexão de saída de dispositivo com sinais de sobreaquecimento



Figura 6.26- Detalhe da conexão defeituosa mostrada na Figura 6.25

É imprescindível o uso de equipamentos adequados e aferidos para o processo, além do efetivo treinamento e conhecimento técnico dos profissionais responsáveis pelos testes de comissionamento e partida à quente das novas unidades.

A necessidade de conhecimento do equipamento a ser instalado e das partes e peças necessárias à correta instalação é fundamental para o sucesso da atividade. Treinamentos, literatura do produto e conhecimento das técnicas relativas ao produto em questão são fundamentais. Na Figura 6.27 se vê o caso onde um instalador efetuou a conexão das barras de saída de um CCM de MT às campânulas de um demarrador. Porém, como se vê nas duas imagens, existem sinais de aquecimento provenientes de um alto valor da resistência de contato na fase C. Isso se deveu ao uso de parafuso de fixação com dimensões incorretas: foi utilizado um elemento com o comprimento maior do que inserto no corpo isolante, não permitindo, mesmo com a máximo torque aplicado, que houvesse contato efetivo entre as barras e o terminal.

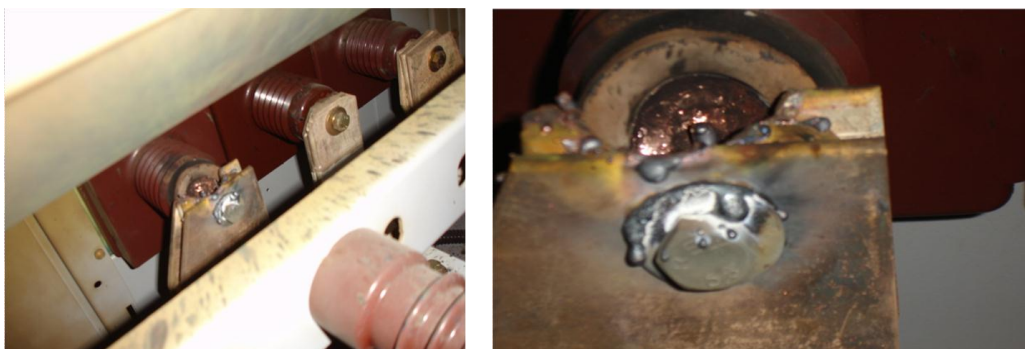


Figura 6.27- Conexão de saída de um CCM de MT com sinais de aquecimento

Uma forma de aumentar a confiabilidade do processo de comissionamento é

adotar procedimentos escritos para as atividades e listas de verificações e registros. O uso de Planos de Inspeção e Teste junto com Listas de Verificações de cada atividade planejada servem de guia, controle e registro das diversas etapas do processo. O capítulo 17 da referência (BLOWER, 1986) apresenta algumas orientações e diretrizes úteis para as etapas de montagem e comissionamento.

6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bem estar da vida humana e a proteção dos bens materiais em uma instalação elétrica são fundamentais em qualquer projeto. Logo, a fim de aumentar a segurança, tanto humana quanto patrimonial, associada ao uso de conjuntos de manobra e controle de potência em um sistema elétrico industrial é importante conhecer os riscos associados ao uso dos mesmos. E, então, partindo-se deste conhecimento, adotar as opções e recomendações disponíveis na literatura e normas técnicas, de forma a se definir as melhores opções para as especificação e o emprego dos equipamentos.

7. ESTUDOS DE CASO

7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A fim de fornecer mais informações e exemplos relativos aos tópicos apresentados nos capítulos anteriores, são discutidas algumas das atividades relativas a especificação e projeto de conjuntos de manobra e controle de potência em média e baixa tensões. Este material se baseia em experiências profissionais obtidas em casos reais, por mais de 16 anos, junto a Fábrica de Painéis (“PDO – Assemblies”) da Eaton Ltda. Foram escolhidos dados e informações de FDs e ETs de diversos clientes industriais de grande porte, sem se limitar a único projeto específico, de forma a ilustrar o maior número possível de pontos relevantes a este trabalho.

7.2. ESTUDO DE CASO DE MÉDIA TENSÃO

Para o caso de média tensão, é analisado uma cotação para um conjunto de manobra e controle de potência, do tipo CDC. Como indicado no diagrama unifilar da Figura 7.1, o fornecimento de energia elétrica desta subestação de uma indústria de mineração é realizado através do alimentador de tensão nominal 4,16 kV que sai da SE principal, que por sua vez é alimentada por um ramal aéreo de 138 kV proveniente da concessionária local de energia.

As principais informações mencionadas na ET e FD originais, enviadas pelo cliente, foram:

1. Altitude: 1970 m;
2. Temperatura média / máxima: 28 °C / 34 °C;
3. Alimentação: sistema trifásico, $U_e = 4,16$ kV, 60 Hz, neutro aterrado por resistor de 400 A / 10 s, proveniente de transformador de 5 MVA, com dois estágio de ventilação forçada de 25% cada;
4. Demanda máxima esperada: 6 MVA (5,5 MW com FP= 0,91 indutivo), com previsão futura para mais 25% de carga;
5. Nível de curto-circuito informado: 18,7 kA eficazes simétricos, com X/R= 34.
6. Saída: 2 alimentadores de 3 MVA, cada; sem previsão de expansão;
7. Estrutura “Metal-clad”, com proteção contra os efeitos de arco elétrico em todo seu entorno para uma instalação em sala elétrica (acesso restrito).

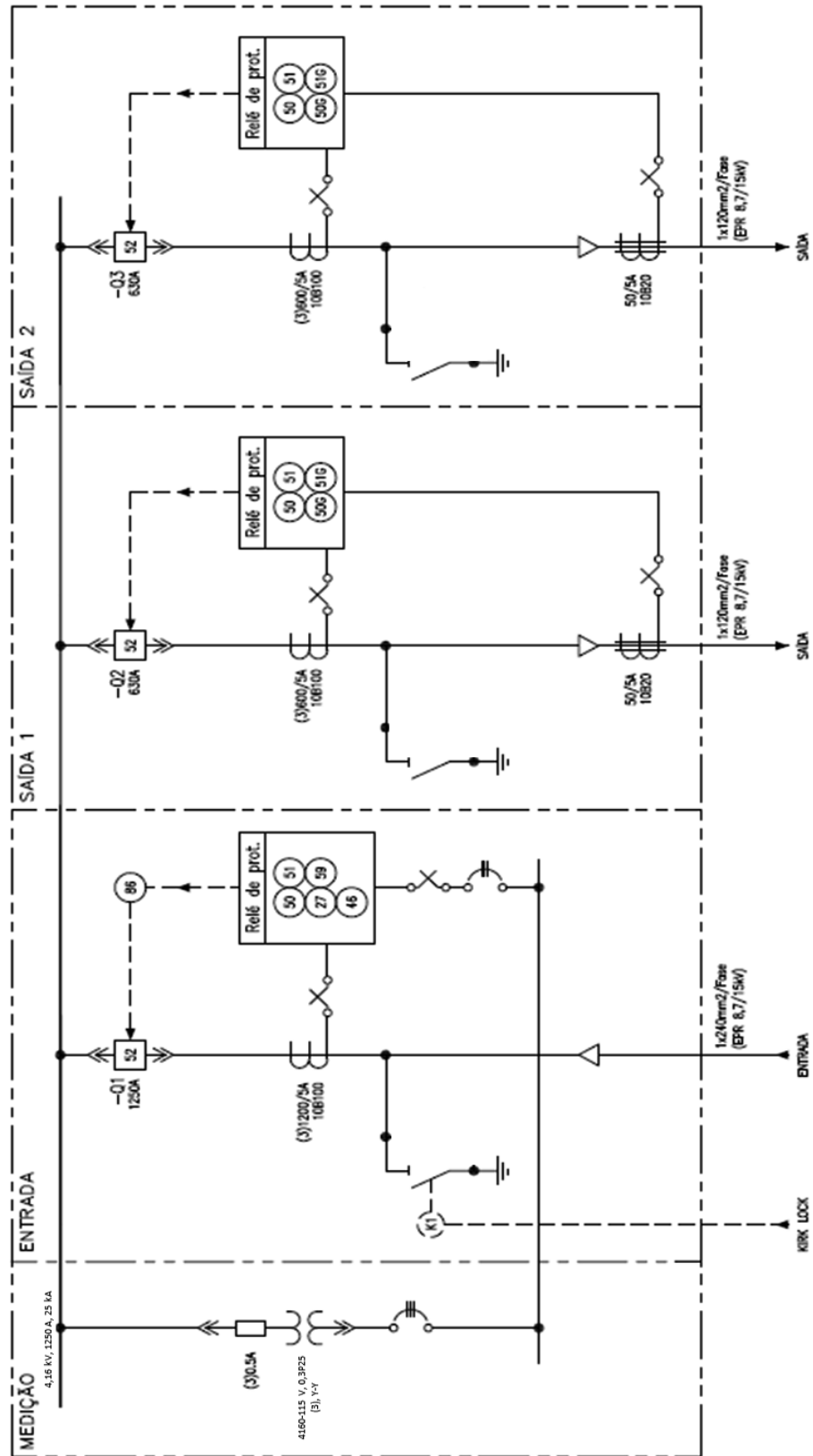


Figura 7.1- DU para um CDC de MT

7.3. ANÁLISE DO CASO DE MÉDIA TENSÃO

Neste caso, como o cliente deixou em aberto a normalização técnica prefe-

rencial para este projeto, são assumidas as diretrizes estabelecidas das normas ABNT NBR IEC 62271-200 e IEC 62271-200, que servem de base para o fornecimento e uso de conjuntos de manobra e controle de média tensão no Brasil.

A primeira preocupação é o nível de isolamento para este equipamento. Como a tensão nominal é de 4,16 kV, os primeiros valores a serem adotados para a tensão suportável ao impulso atmosférico (U_p) e tensão suportável a frequência industrial (U_d), segundo a norma IEC 62271-1, seriam, respectivamente: 60 kV (pico) / 19 kV eficazes.

Porém, como a altitude se encontra acima de 1000 m, deve-se seguir as recomendações da IEC 62271-1 e determinar o fator de correção, K_a . Baseando-se na IEC 60071-2, este fator é igual a 1,1264, o que resulta para U_p e U_d , respectivamente, 67,6 kV e 21,4 kV. Assim, é necessário usar um equipamento de classe 12 kV ($U_p= 75$ kV e $U_d= 28$ kV).

A corrente nominal de 1250 A indicada no DU já atende o projeto, tanto na sua máxima demanda atual quanto futura (823 A e 1041 A, respectivamente). Como existe uma margem de mais de 15% para se atingir a corrente de regime máxima do painel e ainda não existe um consenso na IEC para um fator de correção do valor da corrente, o valor estipulado no DU foi mantido.

O nível de curto-circuito e da relação X/R informados resulta, com base nas Fórmulas (3.3) e (3.4), em um valor de pico da corrente suportável de 50,7 kA. Estes valores poderiam ser atendidos por um conjunto ensaiado para 20 kA eficazes (52 kA de pico); porém, observa-se que não haveria nenhuma margem para o crescimento futuro do nível de curto-circuito. Assim, o valor de 25 kA (65 kA de pico) informado no DU é bem razoável e foi mantido.

As saídas de 630 A solicitadas atendem a demanda atual de cada ramal (412 A) e a futura (521 A). Como não foi informado nenhum acréscimo futuro de saídas, foi mantido o valor de 1250 A para o barramento principal e o disjuntor de entrada.

O cliente não foi claro quanto a acessibilidade e classificação quanto a continuidade de corrente (classificação LSC). Porém, como foi mencionado que a estrutura deve ser do tipo “Metal-clad”, deve-se adotar a especificação LSC2B-PM e com acessibilidade por intertravamento para o compartimento do disjuntor. O compartimento de cabos pode ser acessível por procedimento (desenergização do dis-

positivo de manobra, movimentação até a posição extraída, verificação visual de presença de tensão e acionamento da chave de aterramento associada), conforme descrito no manual do fabricante original do equipamento. Quanto ao compartimento do barramento principal, optou-se pela acessibilidade especial (acesso por ferramentas). Também, precisa ser considerado um modelo construtivo que tenha os barramentos e conexões isoladas, além de buchas de passagens entre seções no compartimento do barramento principal, conforme a norma IEEE C37.20.2.

Para atender, também, as determinações da IEEE C37.20.2, os 3 TPs de barra devem ser do tipo extraível. Como a conexão pedida é “estrela aterrada – estrela aterrada” para uso em um sistema aterrado por resistor (400 A / 10 s), as três unidades serão isoladas em epóxi com os seguintes dados: $4025/\sqrt{3} - 115/\sqrt{3}$ V, relação 35:1, NI: 28/75/- kV, ligação fase-terra, grupo de ligação 3a, fator de sobretensão nominal igual a 1,2 (contínuo) / 1,9 (30 s).

Os TCs, tanto da entrada como das saídas, apesar de atenderem a saturação para condição simétrica, o mesmo não pode ser garantido para a condição de máxima assimetria, devido ao alto valor de X/R. Por conta disso, devem ser especificados relés de sobrecorrente microprocessados, com algoritmos capazes de lidar com sinais distorcidos e com capacidade de comunicação, de forma a permitir a inclusão da Seletividade Lógica (ZSI), mudanças de grupo de ajustes da proteção (para redução de energia incidente) e comunicação remota para uma IHM (operação e monitoração feitas longe de pontos focais de energia incidente).

O painel deve ser capaz de resistir aos efeitos de um arco interno em todas as suas faces (lados) e ter acesso somente a pessoal autorizado (já que a instalação será em uma sala elétrica). Neste caso, a classificação do painel deverá ser: IAC A-FLR / 25 kA / 1 s.

Em resumo, a especificação básica para o painel seria:

- Normas IEC 62271-200 / IEC 62271-100 / IEC 62271-1 / IEC 62271-102;
- U_e : 4,16 kV / f_r = 60 Hz;
- U_r : 12 kV (U_p = 75 kV / U_d = 28 kV);
- I_r : 1250 A;
- I_k : 25 kA / t_k = 3 s e I_p : 65 kA;
- LSC2B-PM;
- Acessibilidades: intertravamento para compartimento de manobra ou da ga-

veta de TPs / procedimento para o compartimento de cabos / ferramentas para barramento principal;

- IAC A-FLR, 25 kA, 1 s; com duto coletor / exaustor de gases;
- Estrutura formada por 4 seções, conforme o DU fornecido, sendo: uma UF de entrada (disjuntor de 1250 A), uma de medição (TPs) e duas de saída (disjuntor de 630 A); com grau de proteção IP40 (uso em sala abrigada e limpa, sem presença de sprinklers);
- Disjuntores e gaveta de TPs extraíveis com acesso ao compartimento por intertravamento (movimentação entre as posições “inserida” e “teste/extraída” dos elementos feita com a respectiva porta frontal fechada);
- Barras e conexões isoladas;
- Bucha de passagem entre seções para o barramento principal.

7.4. ESTUDO DE CASO DE BAIXA TENSÃO

Para a baixa tensão, é analisado o caso de um conjunto de manobra e controle de potência, do tipo CCM, para o setor petroquímico, com a tensão de nominal em 460 V trifásicos, 60 Hz; que vem de um CDC de BT, alimentado por transformador abaixador de 2,5 MVA e relação 13,8 kV – 460 V.

Não foi encaminhado nenhum diagrama, mas as principais informações listadas na ET, FD e informações gerais, obtidas do cliente, foram:

1. Norma NBR IEC 60439-1;
2. Altitude: 1350 m;
3. Temperatura média / máxima: 25 °C / 28 °C (sala climatizada);
4. Alimentação: sistema trifásico, $U_e = 460$ V, 60 Hz, neutro aterrado solidamente, proveniente de transformador de 2,5 MVA, sem ventilação forçada;
5. Valor da corrente de curto-circuito informado para o ponto de instalação do CCM: 37,6 kA eficazes simétricos;
6. Saída: 36 partidas diretas para 15 kW e 2 alimentadores de 16 kVA (transformadores auxiliares de 460 – 230/133 V para iluminação);
7. O disjuntor de entrada e as gavetas (UFs) de saída devem ser extraíveis.
8. Sem requisitos de com proteção contra os efeitos de arco elétrico.
9. Instalação em sala elétrica (classificação de pessoal: BA4 / BA5) climatizada, sistema de combate de incêndio por pó (sem sprinklers) mas com possi-

- bilidade de condensação de umidade e ausência de pó, em uso normal;
10. Forma construtiva que permita intervenção em cabos e UFs sem riscos de eletrocussão. Deve haver segregação total dos barramentos (principal e de derivações), unidades funcionais e as conexões dos cabos de saída (inclusive entre unidades e entre as saídas de forças);
 11. O disjuntor de entrada deve ser do tipo aberto, ter unidade de proteção integrada e informações de tensão, corrente e qualidade de energia. Precisa ser de Categoria de Seletividade B e ter I_{cs} igual ao I_{cu} ;
 12. Os disjuntores dos alimentadores podem ser de Categoria A, trifásicos em caixa moldada e ter I_{cs} menor que I_{cu} ;
 13. As partidas devem ser protegidas, com disjuntor somente magnético como dispositivo de proteção de curto-circuito. As partidas devem ter coordenação Tipo 2;
 14. Existe a possibilidade da instalação ser feita com a traseira do painel próxima a uma parede;
 15. O painel deve ser Categoria de Risco 2.

7.5. ANÁLISE DO CASO DE BAIXA TENSÃO

O cliente informou que só precisa de um orçamento orientativo para esta obra e, por conta disso, não encaminhou nenhum DU. Solicitou que fosse seguida a normalização da ABNT para este Centro de Controle de Motores.

Tanto a altitude (< 2000 m) quanto a temperatura (< 35 °C / 40 °C) informadas não vão contra as condições padronizadas pela ABNT NBR IEC 60439-1. Logo não é necessário se preocupar com qualquer tipo de fator de correção.

Como a tensão nominal para este equipamento de distribuição (categoria III de sobretensão) é 460/266 V em um sistema com neutro eficazmente aterrado, segundo a Tabela G1 do Anexo G da norma ABNT NBR IEC 60439-1, o valor da tensão nominal de impulso (1,2/50 μ s) adotado é 4 kV. O painel ofertado foi ensaiado e possui certificação para a tensão de impulso com o valor de 6 kV.

O nível de curto-circuito informado é de quase 40 kA. Apesar de este ser um valor padronizado, é melhor especificar 50 kA, visto que não se conhece o contexto final da instalação. Como não foi informado o valor da relação de X/R, será adotado o valor n da Tabela 4.1 da norma ABNT NBR IEC 60439-1 para a obten-

ção do pico da corrente correspondente ao nível informado de 37,6 kA eficazes para o curto-circuito, ou seja: 2,1. Isto resulta em um valor de 79 kA de pico, que é menor do que 105 kA (valor de pico para uma corrente suportável de 50 kA).

As partidas protegidas de 15 kW implicam numa corrente de regime (I_e) de 25 A, em 460 V, para cada uma. Os alimentadores de 16 kVA solicitam cada um: 20,1 A. Aqui a questão é como acomodar estas cargas. O tipo de CCM ofertado aceita, em cada seção (coluna vertical), até 25 gavetas (UFs) demarradoras de no máximo 15 kW ou alimentadoras de 32 A, com um fator nominal de diversidade igual a 0,8. Como não existe nenhuma informação sobre a demanda máxima esperada, será considerado que as cargas seguem, quanto ao fator de diversidade, a recomendação do valor de 0,6 para mais de 10 circuitos principais.

Como são 38 saídas, é necessário, para este tipo de CMCP de BT, usar duas colunas verticais de saída. Sendo, neste caso, uma boa prática dividir as cargas igualmente por cada seção. Logo, serão 13 UFs (12 partidas e 1 alimentador, com um total de 320,1 A) por seção, com a possibilidade de instalar, adicionalmente, até 12 UFs em cada, deste que se respeite a capacidade de cada coluna e do CCM como um todo.

Ao se adotar o fator 0,6, a solicitação máxima para o CCM será, de aproximadamente, 564 A (282 A por barramento de derivação). Como irão ficar 12 espaços vazios em cada coluna e o projeto permite crescimento ou alteração de cargas, logo o recomendável é adotar 1000 A para o barramento principal.

O disjuntor de entrada segue a capacidade do barramento principal. É do tipo aberto (de potência), com disparador microprocessado incorporado, com capacidade de medições de grandezas elétricas e de comunicação por protocolo do tipo “proprietário” (Modbus RTU, por exemplo).

Pelas condições ambientais informadas para o local de instalação, pode-se considerar que o interior do conjunto (microambiente) ficará sujeito, na pior das hipóteses, às condições do Grau de Poluição 2. Como o projeto ofertado possui características construtivas para atender aplicações com Grau de Poluição 3, não existem possibilidades de risco ao equipamento ofertado.

Com bases na acessibilidade e nas condições do local, o grau de proteção para este CCM pode ser IP31. Esta opção, no caso deste produto, é interessante, porque não provoca nenhum decréscimo na capacidade de condução das corren-

tes de regime dos barramentos ou componentes instalados. Um exemplo é o do disjuntor de entrada: o modelo ofertado, para instalação em estruturas até IP31, não requer redução na sua capacidade de corrente nominal na condição “enclausurado” (se fosse necessário usar um invólucro com classificação IP42 ou IP54, o fabricante estabelece um fator para a redução da capacidade permanente de corrente deste disjuntor).

A preocupação com a segurança e segregação entre partes energizadas pedem forma de separação 4a ou 4b. Neste caso, o painel ofertado possui a característica 4b.

Os demarradores ofertados atendem a Coordenação Tipo 2 com disjuntor em caixa moldada, com disparador somente magnético, contator e relé térmico de sobrecarga (modelo convencional) ensaiados pelo fabricante para 25 A na categoria AC3 (3 kA para corrente presumida “R” e 50 kA para a corrente “Q”) em 480 V, conforme a IEC 60947-4-1. Estas características atendem a solicitação de projeto.

O disjuntor de entrada possui $I_{cs} = 100\%$ de I_{cu} (igual a 50 kA, neste caso). Além disso, se encaixa na Categoria de Seletividade B (possui capacidade ensaiada para a corrente de curta-duração), conforme estabelecido na IEC 60947-2.

Os disjuntores de cada um dos dois alimentadores se encaixam na Categoria A e apresentam $I_{cs} = 80\%$ de I_{cu} , ou seja: 40 kA.

O disparador microprocessado da unidade de disparo do disjuntor de entrada possui capacidade de comunicação, permitindo o uso de Seletividade Lógica (ZSI), mudanças de grupo de ajustes da proteção (para redução de energia incidente) e comunicação remota para uma IHM (operação e monitoração feitas longe de pontos focais de energia incidente).

A solicitação de que o painel tenha Categoria de Risco 2 está, totalmente, equivocada. Um painel não possui, inerentemente, nenhuma Categoria de Risco. Estes valores são determinados em função dos estudos de curto-circuito (cálculo das correntes de arco), de coordenação e seletividade (determinação dos tempos de arco) e de cálculo de energia incidente (obtida a partir das duas informações anteriores mais as características do painel). Este erro ocorre algumas vezes devido ao desconhecimento do usuário quanto a forma de se definir HRC.

Porém a solicitação do parágrafo anterior mostra que existe a preocupação do usuário quanto a segurança humana. Como o disparador do disjuntor de entra-

da ofertado possui a capacidade de alterar os ajustes para as condições de intervenção, a equipe de manutenção dispõe de meios para reduzir os níveis de energia incidente, conforme já apresentado na Figura 4.19 e na Seção 4.3 deste trabalho.

Em resumo, a especificação básica para o painel seria:

- Normas IEC 60439-1;
- U_e : 460 V / f_n = 60 Hz;
- U_{imp} : 6 kV;
- I_r : 1000 A;
- I_k : 50 kA / t_k = 1 s. I_p : 105 kA;
- Forma de Separação 4b;
- Unidade funcionais (entrada e saídas) do tipo extraível: W-W-W;
- Estrutura formada por 3 seções, sendo que a : 1ª seção contém a UF de entrada (disjuntor aberto de 1000 A com unidade de disparo microprocessada incorporada, com capacidade de comunicação, medição de grandezas elétricas, seletividade lógica e sistema de redução de energia para manutenção) e mais duas colunas com as unidades de saída (cada seção terá 18 UFs com partidas de 15 kW – coordenação tipo 2, e uma UF para alimentador de 20 kVA). Grau de proteção IP31;
- Entrada inferior para os cabos de força e controle, com acesso frontal para as conexões.

7.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram apresentados, de forma sucinta, em uma abordagem geral, dois estudos de caso, uma para média tensão e outro para a baixa, com exemplos de principais conceitos associados a definição de CMCP associados a um processo industrial, destacando-se a variedade de premissas e a complexidade inerentes a este tipo de equipamento.

O processo é muito mais complexo e vasto, mas a ideia principal foi mantida, ou seja: alertar possíveis usuários dos detalhes e cuidados necessários na especificação, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos conjuntos de manobra e controle de potência em média e baixa tensão.

8. CONCLUSÕES

8.1. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

O uso dos Conjuntos de Manobra e Controle de Potência, tanto em Baixa quanto em Média Tensão, associado à Segurança Humana e à Patrimonial é uma atividade que se inicia bem antes de sua instalação e que se prolonga por toda a sua vida útil. Neste contexto, pode-se, seguindo a normalização relativa a cada produto, estabelecer algumas diretrizes básicas:

- Quantificar as cargas com seus perfis e as suas reais demandas;
- Identificar as condições do local da instalação: ambientais (umidade, temperatura, poluentes, altitude, etc.) e espaciais (área e altura disponíveis, acessibilidade, etc.);
- Definir as tensões nominais e de operação, segundo suas disponibilidades;
- Definir o tipo de aterramento a ser adotado para o sistema elétrico;
- Definir a filosofia de proteção a ser adotada;
- Efetuar estudos de engenharia necessários, de forma completa e consistente (fluxo de carga, queda de tensão, curto-circuito, coordenação e seletividade, aterramento e dos níveis de energia incidente);
- Efetuar as análises de Risco. Identificar e difundir as informações sobre os níveis de energia incidente. Definir e adotar um programa de Segurança em conformidade com a realidade existente. Estabelecer treinamento para a identificação e o uso correto dos EPCs e EPIs necessários;
- Definir as filosofias de operação e manutenção, valendo-se de novas tecnologias de monitoramento remoto e redução de energia de falta;
- Preferir o uso de sistemas inteligentes, com redes de campo, para a operação, monitoramento, coleta de dados e diagnósticos;
- Procurar usar tecnologias mais seguras para os monitoramentos térmicos e dielétricos dos sistemas condutores e de isolamento;
- Inserir tópicos sobre CMCP nos cursos de formação e de atualização dos profissionais para o segmento eletrotécnico e de engenharia elétrica, nos cursos de equipamentos industriais e de Sistemas de Potência;
- Principalmente, valorizar a **INFORMAÇÃO** e a **CONSCIENTIZAÇÃO**.
Dentro do contexto e das informações apresentadas ao longo deste traba-

lho, pode-se reconhecer que a sua principal contribuição é a disseminação dos conceitos e das soluções relacionadas a aplicação e ao uso dos Conjuntos de Manobra e Controle de Potência e a sua interação com a Proteção dos Sistemas Elétricos Industriais.

Em linhas gerais, no que diz respeito a esta dissertação, pode-se concluir:

- O tema é complexo e vasto. Demanda conhecimentos profundos e cuidados na sua condução. Apesar destes equipamentos se basearem em diversas tecnologias já consolidadas e consagradas, existem características relevantes para cada uma das suas diferentes aplicações;
- A obrigatoriedade da realização completa dos estudos de engenharia aplicáveis ao Sistemas Elétrico, antes de se consolidar a especificação a ser adotada para os diversos Conjuntos de Manobra e Controle a serem utilizados em um determinado Sistema Industrial;
- O conhecimento e adoção do estado da arte do projeto e aplicação dos conjuntos de manobra e controle permitem, além de um desempenho eficaz e confiável, um enorme ganho na segurança humana;
- A necessidade da interação entre os profissionais responsáveis pelo projeto e especificação dos sistemas elétricos industriais, pelos estudos associados a proteção elétrica, pela definição das filosofias de operação e manutenção e pela fabricação da solução a ser adotada para cada Conjunto de Manobra e Controle de Potência.

O presente trabalho visa, também, sensibilizar as comunidades profissionais e acadêmicas para a necessidade e a importância em divulgar e consolidar as informações e o conhecimento relativos ao Conjuntos de Manobra e Controle de Potência.

8.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que o presente trabalho não se propõe a esgotar o tema sobre Conjuntos de Manobra e Controle de Média e Baixa Tensão, além do fato de que a gama de temas relacionados a este tópico é vasta, são apresentados a seguir algumas sugestões de linhas de pesquisa que podem contribuir para disseminar o conhecimento relativo ao uso e aplicação destes equipamentos:

- Análise do aumento de segurança e do desempenho dos Conjuntos de Ma-

nobra e Controle de Potência que utilizam, na sua construção, características adicionais e/ou superiores aos requisitos mínimos normativos;

- Estudo do impacto das atividades dos ensaios de aceitação em fábrica e de comissionamento em campo na minimização dos problemas enfrentados na vida útil de um CMCP;
- Levantamento junto aos profissionais responsáveis pela especificação, desenvolvimento, fabricação, comissionamento, utilização e manutenção de um CMCP em MT ou BT, dos problemas, dificuldades e necessidades encontrados para se aplicar estes equipamentos nos diversos segmentos industriais brasileiros; acompanhado de sugestões de possíveis melhorias para este contexto;
- Análise do impacto da mudança de paradigma de segurança das instalações e dos equipamentos, para uma visão mais holística, com a priorização da segurança humana;
- Estudos complementares visando a melhoria e a otimização dos projetos dos Conjuntos de Manobra e Controle, atentando para os requisitos de dimensionamento frente às necessidades específicas do mercado brasileiro.

8.3. PUBLICAÇÕES

Como resultado dos trabalhos de desenvolvimento da presente dissertação, foi possível publicar alguns artigos técnicos em conferências de âmbito nacional e internacional, o que confirma a relevância do tema escolhido para a comunidade técnica e acadêmica, sendo eles:

- Costa, L. F. O e Carvalho Filho, J. M; “Requisitos para Aplicações e Usos de Conjuntos de Manobra e Controle de Média Tensão”, X Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica – CBQEE. Araxá – MG, 26 a 28 de julho de 2013.
- Costa, L. F. O e Carvalho Filho, J. M; “Desafios para a Qualidade de Energia na Aplicação de Conjuntos de Manobra e Controle de Potência”, X Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica – CBQEE. Araxá – MG, 26 a 28 de julho de 2013
- Costa, L. F. O; Rangel Junior, E.; Carvalho Filho, J. M. e Barros, R.C; “Differences and Similarities between ANSI and IEC Cultures for MV Assemblies

– The Brazilian Experience”, 2013 Petroleum and Chemical Industry Technical Conference – PCIC / IEEE – IAS. Chicago – EUA, 23 a 25 de setembro de 2013. Ressalta-se que este trabalho foi selecionado para ser publicado na edição de Julho/Agosto de 2014 no periódico “IEEE Transactions on Industry Applications”.

REFERÊNCIAS

- (ABNT, 2008) ABNT, “NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004 (corrigida em 2008).
- (ABNT, 2005) ABNT, “NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005.
- (ABNT, 2003) ABNT, “NBR IEC 60439-1: Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão – Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testados (PTTA)”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2003.
- (ABNT, 2005) ABNT, “NBR IEC 60529: Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP)”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005.
- (ABNT, 2006) ABNT, “NBR IEC 60694: Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismos de comando”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2006.
- (ABNT, 2007) ABNT, “NBR IEC 62271-200: Conjunto de manobra e controle de alta-tensão – Parte 200: Conjunto de manobra e controle em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 kV”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2007.
- (ANEEL, 2012) ANEEL. “Módulo 1 - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST”. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2012.
- (ANSI, 2000) ANSI, “ANSI C37.06: AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis – Preferred Ratings and Related Required Capabilities”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2000.
- (ASTM, 2013) ASTM International, “ASTM F1959 / F1959M: Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing”, ASTM International, 2013.
- (BEATY e FINK, 2012) Beaty, H. Wayne and Fink, Donald G.; “Standard Handbook for Electrical Engineers – 14th Edition”; MacGraw-Hill Book Company. 2012.
- (BEEMAN, 1955) Beeman, Donald; “Industrial Power Systems Handbook – First Edition”; MacGraw-Hill Book Company. 1955.

- (BLACKBURN e DOMIN, 2007) Blackburn, J. Lewis and Domin, Thomas J.; “Protective Relaying: Principles and Applications – Third Edition”; CRC Press. 2007.
- (BLOWER, 1986) Blower, R. W.; “Distribution Switchgear: construction, performance, selection and installation”; Colins Professional and Technical Books. 1986.
- (BOSSI e SESTO, 1978) Bossi, Antonio e Sesto, Ezio; “Instalações Elétricas – 1ª Edição em Português”; Editora Hemus. 1978.
- (BUSS, EARLEY, et al., 2009) Buss, E. William; Earley, Mark W. and Jones, Ray, A.; “NFPA 70E Handbook for Electrical Safety in the Workplace”; National Fire Protection Association. 2009.
- (CHUNIKHIN e ZHAVORONKOV, 1989) Chunikhin, A and Zhavoronkov, M.; “High Voltage Switchgear – Analysis and Design”; MIR Editorial. 1989.
- (GREMMEL, 2006) Gremmel, Hennig; “ABB Switchgear Manual – 11th revised edition”; ABB AG. 2006.
- (IEC, 2001) IEC; “International Standard IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)”. International Electrotechnical Commission. 2001.
- (IEC) IEC; “International Standard IEC 60865 (all parts): Short-circuit currents – Calculation of effects”. International Electrotechnical Commission.
- (IEC) IEC; “International Standard IEC 60909 (all parts): Short-circuit currents in three-phase ac systems”. International Electrotechnical Commission.
- (IEC, 2001) IEC; “International Standard IEC 60947-1: Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules”. International Electrotechnical Commission. 2001.
- (IEC, 2013) IEC; “International Standard IEC 60947-2: Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers”. International Electrotechnical Commission. 2013.
- (IEC, 2012) IEC; “International Standard IEC 60947-4-1: Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters”. International Electrotechnical Commission. 2012.
- (IEC, 2011) IEC; “International Standard IEC 61439-1: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules”. International Electrotechnical Commission. 2011.

(IEC, 2011) IEC; “International Standard IEC 61439-2: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies”. International Electrotechnical Commission. 2011.

(IEC, 2011) IEC; “International Standard IEC 62271-1: High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications”. International Electrotechnical Commission. 2011.

(IEC, 2008) IEC; “International Standard IEC 62271-100: High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating current circuit-breakers”. International Electrotechnical Commission. 2008.

(IEC, 2001) IEC; “International Standard IEC 62271-102: High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches”. International Electrotechnical Commission. 2001.

(IEC, 2011) IEC; “International Standard IEC 62271-106: High-voltage switchgear and controlgear – Part 106: Alternating current contactors, contactor-based controllers and motor-starters”. International Electrotechnical Commission. 2011.

(IEC, 2011) IEC; “International Standard IEC 62271-200: High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV”. International Electrotechnical Commission. 2011.

(IEC, 2008) IEC; “Technical Report IEC/TR 61641: Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault”. International Electrotechnical Commission. 2008.

(IEEE, 1993) IEEE, “Std 141: IEEE Recommended Practice for Electrical Power Distribution for Industrial Plants”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.

(IEEE, 2001) IEEE, “Std 242: IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2001.

(IEEE, 2002) IEEE, “Std 1584: IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2002.

(IEEE, 1999) IEEE, “Std C37.010: IEEE Application Guide for AC High-voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1999.

(IEEE, 2008) IEEE, “Std C37.013: IEEE Standard for AC High-voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1997 (R2008).

(IEEE, 2007) IEEE, “Std C37.110: IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2007.

(IEEE, 2002) IEEE, “Std C37.20.1: IEEE Standard for Metal-Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear”. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2002.

(IEEE, 1999) IEEE, “Std C37.20.2: IEEE Standard for Metal-Clad Switchgear”. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1999.

(IEEE, 2001) IEEE, “Std C37.20.3: IEEE Standard for Metal-Enclosed Interrupter Switchgear”. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2001.

(IEEE, 2007) IEEE, “Std C37.20.7: IEEE Guide for Testing Metal-Enclosed Switchgear Rated Up for 38 kV for Internal Arcing Faults”. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2007.

(IEEE, 1977) IEEE Working Group of the Relay Input Sources Subcommittee of Power System Relaying Committee; “Transient Response of Current Transforms”; IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, No. 6, IEEE. 1977.

(MTE, 2004) MTE; “NR-10: Norma regulamentadora Número 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade”. Ministério do Trabalho e Emprego – Governo Federal do Brasil. 2004 (Portaria GM no. 598 de dezembro de 2004).

(NEMA, 2005) NEMA, “NEMA Standards Publication No. ICS 3: Industrial Control and Systems: Medium Voltage Controllers Rated 2001 to 7200 Volts AC”. National Electrical Manufacturers Association. 2005.

(NEMA, 2001) NEMA, “NEMA Standards Publication No. ICS 18: Motor Control Centers”. National Electrical Manufacturers Association. 2001.

(NFPA, 2009) NFPA, “70E: Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces”. National Fire Protection Association. 2009.

(SMEATON e UBERT, 1997) Smeaton, Robert W. and Ubert, William H.; “Switchgear and Control Handbook – Third Edition”; MacGraw-Hill Book Company. 1997.

(SPITTA, 1981) Spitta, Albert F.; “Instalaciones Eléctricas – Manuales Siemens-Dossat – 2ª Edición en Español”; 2 volumes; Editora Dossat. 1981.